



# Livestock real-time vital signs monitoring system

**Rita Reigones** - ritareigones@hotmail.com

Universidade da Beira Interior, Portugal

**Pedro Dinis Gaspar** - dinis@ubi.pt

Universidade da Beira Interior, Centre for Mechanical and Aerospace Sciences and Technologies (C-MAST)

**Nuno Garcia** - nmgs@ubi.pt

Universidade da Beira Interior

## Abstract

The focus on the application of information and communication technologies and electronic (ICTE) in agriculture has proven to be very efficient and revolutionary. With the adoption of increasingly efficient and modern technologies, agriculture generally improves its competitiveness and production sustainability. The intensive use of ICTE in this sector aims to create integrated solutions that generate effective gains in productivity, sustainability and economic, social and environmental quality. In this paper is proposed an ICTE-based cattle or horse monitoring system, developed as a belt containing a microcontroller device used to assess the animal's heart rate and detect abnormal mobility. Correct assessment of these two parameters is very useful for detecting many of the pathologies and anomalies that constitute economic losses for producers. With precise monitoring, it is possible to minimize these events detrimental to animal production.

## Keywords

Livestock, Agriculture 4.0, Vital signs, Accelerometry, Heart Rate



# Sistema de monitorização de sinais vitais em tempo real para gado

## 1. Enquadramento

O setor agrícola é muito importante para a economia e sustentabilidade de qualquer país, e até mesmo do globo. Os sistemas pecuários ocupam cerca de 30% da área de superfície terrestre do planeta e são um ativo global significativo com um valor estimado de mais de 1,4 mil milhões de dólares [1]. Com o aumento do crescimento populacional, a tarefa de fornecer alimentos de qualidade a toda a população torna-se cada vez mais difícil. Durante os próximos 15 anos, o consumo global de carne deverá aumentar em 40%, precisamente devido ao aumento da população, uma vez que no ano 2025 é expectável que o número de pessoas seja de 8 mil milhões, e em 2050, 9,6 mil milhões [2-5].

O setor pecuário contribui com até 50% do produto interno bruto agrícola global e consiste no meio de subsistência e segurança alimentar de quase 1,3 mil milhões de pessoas nos países em desenvolvimento [6-7].

De acordo com a FAO [6], a procura global por produtos pecuários aumentará em 70% até 2050. Aproximadamente mil milhões de pessoas consideradas pobres dependem de criação de gado para alimentos e rendimento. Estima-se que dois terços dos indivíduos que vivem com menos de 2 dólares por dia, possuem ou guardam gado [8]. Aumentar a produtividade nos países em desenvolvimento é crucial para a otimização e eficiência da produção, bem como para melhorar a qualidade e a segurança dos alimentos produzidos [6].

Este projeto insere-se na área da agricultura de precisão, precisamente na criação de animais e pecuária. A agricultura de precisão permite que os produtores respondam à procura atual e futura de forma mais eficiente, simultaneamente aumentando a quantidade de animais e melhorando a qualidade, pois poderão gerir uma maior quantidade de animais com menos recursos humanos [8-9].

No contexto deste projeto, pretende-se que os produtores obtenham avaliações dos parâmetros fisiológicos e de mobilidade dos animais sempre que pretenderem, poupando assim tempo e dinheiro, uma vez que o apoio veterinário só será necessário em caso de desvio dos valores normais. Adicionalmente, a necessidade de isolamento dos animais pode ser prevista rapidamente, reduzindo a possibilidade de disseminação de doenças. Ao reduzir o número de animais afetados por uma doença, maior será o rendimento da venda de animais saudáveis ou produtos derivados. Este tipo de monitorização não se limita ao gado, é reprogramável e adaptável a várias espécies.

Atualmente, a dificuldade em monitorizar o gado já é sentida, e com o crescimento populacional, esta dificuldade aumentará bastante. As técnicas mais utilizadas na monitorização são insuficientes para uma atualização constante e precisa do estado de saúde dos animais, visto que exigem muito investimento em recursos humanos e em conhecimento veterinário, tudo para informação esporádica [2], [10].

Ao nível ambiental, é também de interesse geral a implementação de sistemas de precisão, uma vez que o setor agrícola é um dos mais responsáveis pela emissão de gases de efeito estufa e poluição da água e do solo [7], [11]. Quanto ao impacto no ar, a agricultura é responsável por 94% de toda a emissão de amoníaco antropogénico, e 75% destes originam-se apenas de excrementos de gado. Em relação aos gases de efeito estufa, o gado é responsável por cerca de 15% das emissões mundiais. Cerca de 44% ocorrem devido à eructação em ruminantes, que liberta metano ( $\text{CH}_4$ ), 27% corresponde a  $\text{CO}_2$  relacionado ao transporte e 29% são  $\text{N}_2\text{O}$  relacionados aos resíduos e fertilizante [7].

Ao garantir o bem-estar dos animais, a produção é melhorada e o impacto ambiental é reduzido, assim como os perigos para a saúde [2], [6], [7], [10].

Assim, este trabalho visa criar um método otimizado, com desvantagens nulas ou bastantes reduzidas para todas as partes. Incorporando sensores, tecnologia sem-fios (*wireless*) e uma boa capacidade de armazenamento de dados, com o intuito de desenvolver um sistema extremamente útil, preciso, de custo reduzido, intuitivo, fácil de usar e não invasivo. Este sistema vai consistir num microcontrolador que terá sensores de electrocardiografia (ECG) e acelerometria (ACC), o que permitirá obter a frequência cardíaca e caso esta esteja fora do normal, irá enviar ao utilizador o registo de acelerometria. Com esta informação, o produtor pode sempre verificar se um animal está com parâmetros normais ou se requer de atenção médica.

O objetivo de um sistema de monitorização é recolher e avaliar dados de forma contínua, precisa e em tempo real para possibilitar a capacidade de decisão do utilizador, reduzindo os custos operacionais e minimizando a pegada ecológica [2].

## 2. Saúde Veterinária

Existem várias doenças/anomalias bem conhecidas entre os produtores, criadores e proprietários, para causar a morte animal e perda de lucro. Os mais comuns em bovinos são stress térmico, laminite, mastite e hipocalcemia (febre do leite), e a previsão do ciclo éstrico e da fertilidade. Para equinos são as cólicas, laminite e também o tempo de fertilidade. Cada um destas espécies tem sintomas diferentes, mas a maneira de prever e averiguar a ocorrência de uma doença ou alteração têm alguns fatores em comum. A Tabela 1 mostra a contagem de batimentos cardíacos normais por minuto em várias espécies, e a Tabela 2 o sensor adequado para cada anomalia.

Tabela 1. Intervalos normais de batimentos cardíacos em repouso, de várias espécies [12-14].

Espécie	Batimentos por minuto (BPM)
Vaca leiteira	48-84
Cavalos	25-60
Cabras	70-80
Ovelhas	70-80
Porcos	70-120

Tabela 2. Sensores apropriados para cada tipo de anomalia [15].

	Anomalia	Comportamentos anormais / Alterações fisiológicas	Sensor apropriado
Gado bovino	Stresse Térmico	Atividade diminuída/ Desconforto	Acelerómetro
		Temperatura corporal anormal	Temperatura
	Laminite	Alterações na locomoção	Acelerómetro
		Ritmo cardíaco anormal	ECG
	Mastite	Produção reduzida	Acelerómetro
	Hipocalcemia	Alterações no movimento	Acelerómetro
Aumento do ritmo cardíaco (aproximadamente 100 BPM)		ECG	
Gado equino	Cólica	Aumento do ritmo cardíaco (aproximadamente 60 BPM)	ECG
		Alterações no movimento	Acelerómetro
	Laminite	Alterações no movimento	Acelerómetro
	Fertilidade	Alterações no movimento	Acelerómetro

### 3. Processo de desenvolvimento do protótipo

#### 3.1. Microcontrolador

O microcontrolador BITalino oferece opções de baixo custo na área da microeletrónica, para criar protótipos e desenvolver aplicações. É possível criar protótipos *wearable* e realizar uma grande diversidade de testes com estes microcontroladores. Isto torna-se possível devido à diversidade de modelos de microcontroladores BITalino [16], com sensores capazes de realizar eletrocardiograma (ECG), eletromiografia (EMG), medição do fluxo de ar, acelerometria (ACC), entre outros.

A plataforma escolhida para este protótipo foi o kit BITalino R-IoT [17], ilustrado na Figura 1. Este kit tem um dos sensores necessários, o acelerómetro, mas sendo que também é necessária a funcionalidade de ECG, um sensor ECG foi acoplado posteriormente. Deste modo estão presentes todas as características para a avaliação e o processamento dos sinais. O software utilizado para adquirir os sinais vitais foi o OpenSignals [16]. A operação com o microcontrolador é intuitiva e acessível, e a aquisição de dados é realizada em tempo real. Na Figura 2 está representada o exemplo de uma janela OpenSignals [16] com canal A14 para o ECG e A2 para ACC, enquanto está a adquirir sinais vitais. Na Figura 3 está representado o dispositivo final, utilizado para aquisição dos sinais, já com o sensor ECG e os cabos soldados.



Fig. 1 - Kit BITalino R-Iot [17]



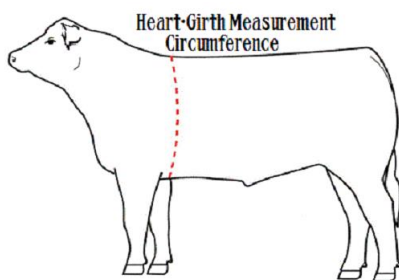
Fig. 2 - Janela de aquisição em tempo real no software OpenSignals [16].



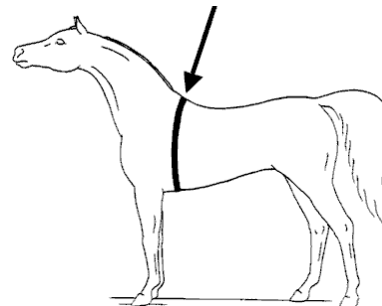
Fig. 3 - Kit BITalino R-lot [17] com o sensor ECG e cabos soldados.

### 3.2. Operação geral

O protótipo baseia-se num cinto com fita métrica, com uma embalagem integrada à fita que contém o microcontrolador e uma abertura para ligação dos cabos do sensor de ECG. A fita métrica serve para estimar o peso do animal, consoante a espécie, pois a relação entre ambas as medidas encontra-se tabelada. O cinto é colocado em volta do tronco do animal, logo atrás das patas da frente. O local do posicionamento para ambas as espécies encontra-se na Figura 4.



a) Posicionamento do cinto em bovinos.

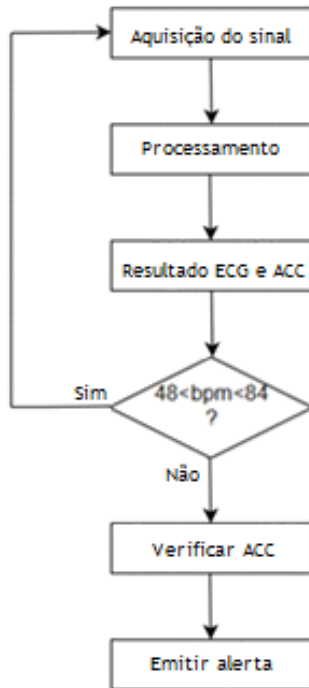


b) Posicionamento do cinto em equinos.

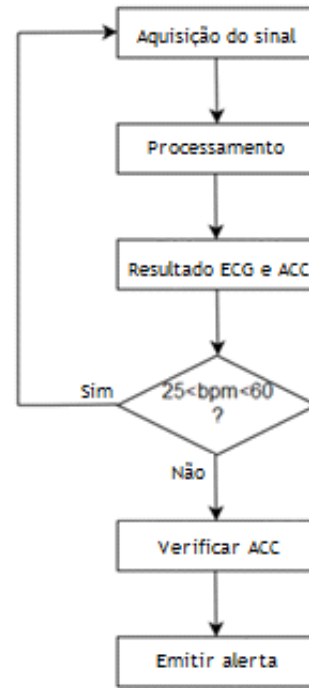
Fig. 4 - Ilustração do posicionamento do cinto em ambas as espécies [18].

Na Figura 5 encontram-se os fluxogramas que resumem o funcionamento do sistema para bovinos e equinos. Primeiramente, o sinal é adquirido pelo BITalino e processado pelo software OpenSignals. Após o tratamento do sinal é possível proceder à contagem de picos R do complexo QRS, obtendo assim os batimentos cardíacos por minuto. Caso a contagem de BPM não corresponda aos parâmetros normais, os resultados de ACC vão ser enviados por email juntamente com a contagem anormal de BPM para o utilizador via email. O email terá o texto: *"BPM count is at 'X'. Please check ACC history."*, sendo 'X' o número de BPM no momento do envio de alerta.

O código utilizado para a seleção de picos R foi diferente em equinos e bovinos devido às diferenças entre os seus complexos QRS. Teve que ser acrescentada uma secção de código para filtrar picos de amplitude elevada que estavam a ser contados como picos R pelo algoritmo, mas que na realidade não eram.



a) Funcionamento do sistema para parâmetros de equinos em repouso.

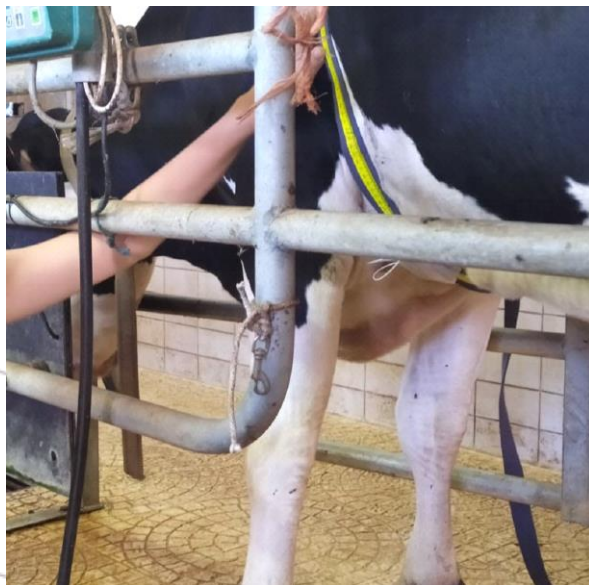


b) Funcionamento do sistema para parâmetros de bovinos em repouso.

Fig. 5 - Esquema de funcionamento do sistema para ambas as espécies.

#### 4. Testes experimentais

Os testes experimentais foram realizados com dois indivíduos, um bovino e outro equino. Na Figura 6 estão representados os dois indivíduos com o protótipo colocado e pronto a adquirir dados. O bovino estava na estação de ordenha.



a) Bovino com o protótipo colocado.



b) Equino com o protótipo colocado.

Fig. 6 - Ambas as espécies com o protótipo colocado.

As aquisições de dados foram realizadas sempre nessa altura devido a razões de disponibilidade e segurança. O animal encontrava-se sempre em stress e agitado. Pelo contrário, o equino encontrava-se sempre calmo e não estava em nenhum espaço próprio mas sim perto da sua *box*. Quanto ao posicionamento dos elétrodos, o positivo é colocado do lado esquerdo, o negative no lado direito e o neutro foram colocados no meio do peito dos animais.

Na Figura 6 b), o cinto ajustou-se até aos 183 cm, podendo assim ser concluído através dos valores tabelados que o equino pesa pouco menos de 500 kg.

## 5. Resultados

Na Figura 7 encontram-se 3 exemplos de sinal de ECG adquiridos com o protótipo e apresentados no software OpenSignals. São excertos de 15 segundos, onde se pode observar as diferenças entre as diferentes ondas QRS nas três espécies em que se realizaram testes com o protótipo: humanos, bovinos e equinos.

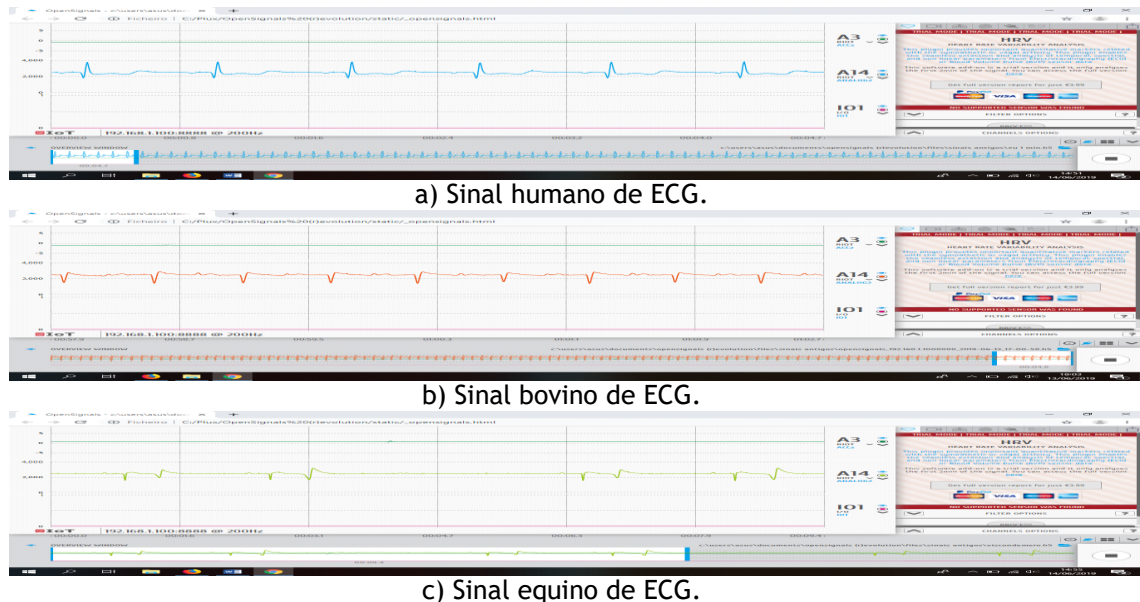


Fig. 7 - Sinais de ECG processados e apresentados com o software OpenSignals.

Foram realizados 10 testes ao bovino, e na Figura 8 encontra-se um dos sinais resultantes, com ECG e ACC. Os testes tiveram a duração de 2 minutos, mas devido à queda de sensores e agitação, foi por vezes necessário reduzir a duração do sinal no final para que essas perturbações não tivessem efeito. Nas aquisições em que foi possível obter um sinal bom, este era semelhante ao da Figura 8, que é o expectável em termos da forma de onda e do complexo QRS. O animal estava sob stress e por isso nesse caso os resultados não são o esperado.



Fig. 8 - Aquisição de sinais ECG e ACC.

Neste caso específico exposto na Figura 8, o resultado dos BPM foi de 102, bastante acima do normal. Quanto ao valor *raw* dos picos QRS detetados, o mínimo obtido foi de 2305, o máximo de 4095 e a média foi 2515. O animal estava saudável, por isso o resultado deve-se apenas à situação que não é familiar, provocando agitação. Apesar da situação, o algoritmo criou, filtrou, processou e retornou a contagem de BPM e o gráfico de acelerometria, tendo sido gerado um alerta devido à obtenção de valores anormais.

No caso dos equinos, foram realizados 16 testes de 2 minutos e os resultados dos BPM obtidos estão dentro do expectável. Tal como no caso do bovino, alguns sinais adquiridos tiveram que ser reduzidos. Quanto aos valores mínimos, máximos e médios *raw* de picos R detetados, os resultados foram 1817, 2732 e 2210, respetivamente. Na Figura 9 encontra-se uma aquisição realizada, cujo resultado dos BPM obtidos foi de 24. As aquisições manuais rondavam os 30 BPM num estado calmo e de repouso, o que significa que os resultados se encontram dentro dos valores considerados normais para esta espécie. Contudo, devido aos desvios, o algoritmo devolve um alerta para valores entre os 20 e os 65 BPM para equinos e 40 e 90 para bovinos, de modo a que haja alguma margem.



Fig. 9 - Aquisição de sinais ECG e ACC.

Nos primeiros testes não foi realizada tricotomia, de modo a comprovar a necessidade destas com posteriores comparações. Na Figura 10 encontra-se um exemplo de um sinal obtido sem a realização dessa técnica, podendo-se assim aferir a necessidade da aplicação desta técnica para obtenção de resultados mais fidedignos.

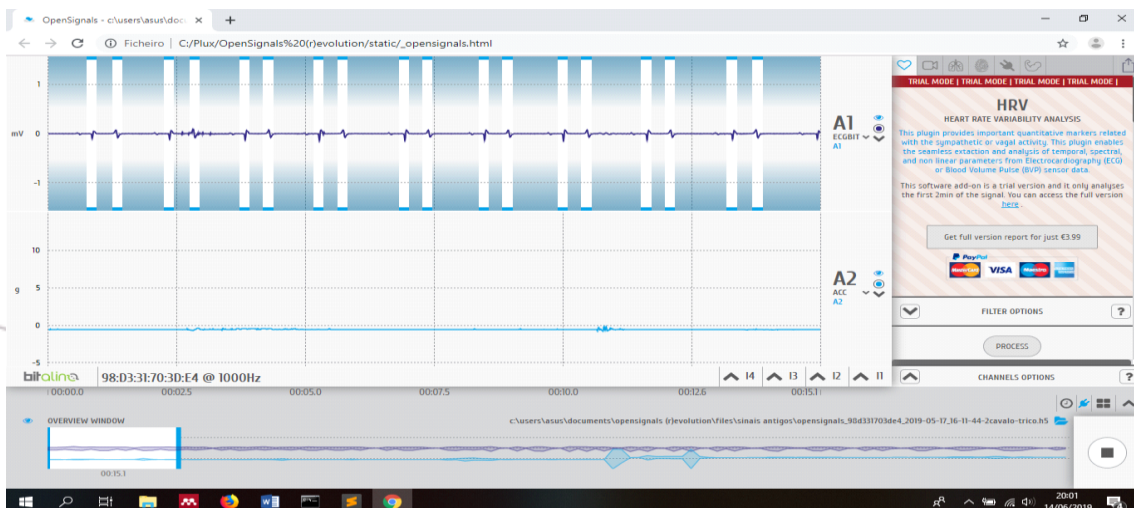


Fig. 10 - Aquisição de sinais ECG e ACC sem tricotomia num equino.

Na Figura 11 encontra-se um exemplo de alerta utilizando outro teste realizado num bovino. Através do email criado propositadamente para este efeito, foi enviado um email para uma conta pessoal, com o aviso da contagem de BPM e gráfico de acelerometria.

#### Alert



Fig. 11 - Exemplo de alerta enviado por email.

Principalmente no caso dos bovinos, torna-se necessário a realização de mais testes, num ambiente mais calmo, de modo a que se sintam mais familiarizados com a situação do teste experimental. A melhoria e otimização do algoritmo é também um dos passos a concretizar posteriormente. A Figura 12 ilustra o sistema completo, com os eléctrodos, sensor ECG, entre outros.

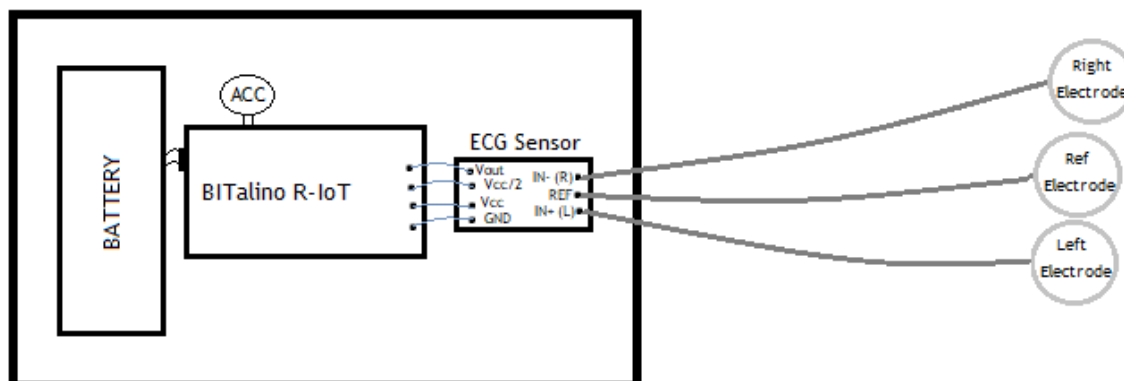


Fig. 12 - Ilustração do sistema de microcontrolador e vários componentes presentes na caixa do protótipo.

## 5. Conclusão

O ajuste e o algoritmo que trata e armazena o sinal de ECG, e executa a contagem do BPM, precisam de ser otimizados e melhorados. Devem ser executados testes adicionais, em mais indivíduos, de modo que um valor médio possam ser traçado, e para que se obtenha melhores resultados. Após esta calibração, o sistema será mais preciso. Tudo o que foi proposto funciona corretamente e corresponde às expectativas do projeto. Quanto a estas tecnologias no geral, a implementação de um sistema de monitorização torna-se uma vantagem a longo prazo para qualquer produção. Doenças como a hipocalcemia resultam em perda de lucro, pois mesmo antes do animal começar a produzir, pode contrair esta doença. Com a possibilidade de prever e prevenir as patologias que levam mais lucros e vidas animais, os produtores sentem a necessidade de adotar estas tecnologias. Com uma aplicação intuitiva e precisa, como o sistema proposto, muitas perdas serão impedidas, através de uma avaliação precoce e preventiva. Adicionar um GPS e características de avaliação de temperatura, são fatores que ainda devem ser estudados em profundidade para um acompanhamento deste projeto. Além disso, um estudo extenso dos parâmetros e alterações do ACC é extremamente valioso para uma avaliação completa do estado de um animal. Todos estes serão parâmetros cruciais para uma avaliação exata do quadro geral de uma produção. Vários produtores têm demonstrado interesse neste

tipo de sistema, uma vez que a maioria de suas perdas económicas provêm de roubo ou doença. Ao adicionar uma característica de posicionamento a este protótipo, a maioria dos problemas dos produtores seria resolvida. Idealmente, um sistema deste tipo é em forma de um cinto ou coleira, não invasivo, que fornece informações em tempo real e alerta o produtor do estado de saúde e localização de seus animais. A maioria desses parâmetros são cumpridos, portanto, o principal objetivo é melhorar este sistema até que se torne um produto ótimo e comercializável.

## Referências

- [1] FAO, “livestock’s long shadow -enviromental issues and options-livestock,enviromental and development(LEAD),” FAO, 2006.
- [2] S. Jo, D. Park, and S. Kim, “Smart Livestock Farms Using Digital Twin : Feasibility Study,” *2018 Int. Conf. Inf. Commun. Technol. Converg.*, 1461-1463, 2018.
- [3] M. Das Gupta, R. Kollodge, and United Nations Fund for Population Activities, *The power of 1.8 billion : adolescents, youth and the transformation of the future.* .
- [4] “CEMA - European Agricultural Machinery - Agriculture 4.0.” [Online]. Available: <https://www.cema-agri.org/priorities/agriculture-4-0>. [Accessed: 18-Jan-2019].
- [5] E. Brooks-Pollock, M.C.M. de Jong, M.J. Keeling, D. Klinkenberg, and J.L.N. Wood, “Eight challenges in modelling infectious livestock diseases,” *Epidemics*, 10, 1-5, 2015.
- [6] FAO, “Livestock and the environment | FAO | Food and Agriculture Organization of the United Nations.” [Online]. Available: <http://www.fao.org/livestock-environment>. [Accessed: 18-Jan-2019].
- [7] E. Tullo, A. Finzi, and M. Guarino, “Review: Environmental impact of livestock farming and Precision Livestock Farming as a mitigation strategy,” *Sci. Total Environ.*, vol. 650, 2751-2760, 2019.
- [8] J. Yu and C. Heffernan, “Livestock, learning and diagnostics: New directions in veterinary tele-medicine,” *2009 Int. Conf. Inf. Commun. Technol. Dev. ICTD 2009 - Proc.*, p. 489, 2009
- [9] R. Ismail and I. Ismail, “Development of graphical user interface (GUI) for livestock management system,” *Proc. - 2013 IEEE 4th Control Syst. Grad. Res. Colloquium, ICSGRC 2013*, 43-47, 2013.
- [10] P. K. Thornton, “Livestock production: recent trends, future prospects,” *Philos. Trans. R. Soc. B Biol. Sci.*, vol. 365, no. 1554, pp. 2853-2867, Sep. 2010.
- [11] P. K. Thornton and P. J. Gerber, “Climate change and the growth of the livestock sector in developing countries,” *Mitig. Adapt. Strateg. Glob. Chang.*, 15(2), 169-184, 2010.
- [12] “Resting Heart Rates - Special Subjects - Veterinary Manual.” [Online]. Available: <https://www.msdsvetmanual.com/special-subjects/reference-guides/resting-heart-rates>. [Accessed: 24-Jan-2019].
- [13] M. Janzekovic, J. Prisenk, B. Mursec, P. Vindis, D. Stajnko, and F. Cus, “The art equipment for measuring the horse ’ s heart rate,” 41, 180-186, 2010.
- [14] “How to Measure Your Horse’s Fitness using a Heart Monitor | EquiMed - Horse Health Matters.” [Online]. Available: <https://equimed.com/health-centers/fitness-and-conditioning/articles/how-to-measure-your-horses-fitness-using-a-heart-monitor>. [Accessed: 23-Jan-2019].
- [15] A. Helwatkar, D. Riordan, and J. Walsh, “Sensor Technology For Animal Health Monitoring,” *8th Int. Conf. Sens. Technol.*, no. September, 2-4, 2014.
- [16] BITalino, “BITalino - Biomedical Equipment | Low-Cost Toolkit.” [Online]. Available: <https://bitalino.com/en/>. [Accessed: 18-Jan-2019]
- [17] “Triaxial Sensors | Biosensors | BITalino.” [Online]. Available: <https://bitalino.com/en/r-iot-kit>. [Accessed: 26-Apr-2019].
- [18] “Estimating a Horse’s Body Weight | Star Milling Co.” [Online]. Available: <https://www.starmilling.com/bray-estimatingbodyweight.php>. [Accessed: 23-May-2019].