

Cadernos Técnicos de

ISSN 1676-6024

VETERINÁRIA e ZOOTECNIA

Nº 79 - DEZEMBRO DE 2015

Zootecnia de Precisão em Bovinocultura de Leite



Fundação de Estudo e
Pesquisa em Medicina
Veterinária e Zootecnia
FEPMVZ Editora

Conselho Regional de
Medicina Veterinária do
Estado de Minas Gerais
CRMV-MG



Conselho Regional de Medicina Veterinária do Estado de Minas Gerais

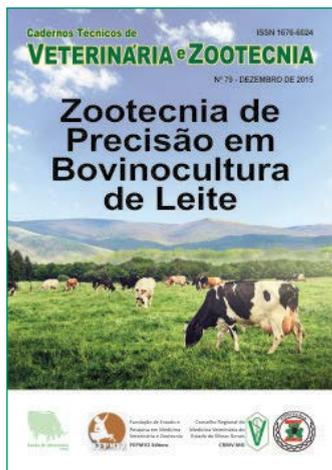
PROJETO DE EDUCAÇÃO CONTINUADA

É o CRMV-MG participando do processo de atualização técnica dos profissionais e levando informações da melhor qualidade a todos os colegas.



VALORIZAÇÃO PROFISSIONAL
compromisso com você

www.crmvmg.org.br



Editorial

Caros colegas,

A Escola de Veterinária da UFMG e o Conselho Regional de Medicina Veterinária de Minas Gerais têm a satisfação de encaminhar à comunidade veterinária e zootécnica mineira um volume temático de Cadernos Técnicos de Veterinária e Zootecnia dedicado à Zootecnia de Precisão na Produção de Leite. A informação imediata dos indicadores da produção tem permitido tomada de decisão mais eficiente na produção. Na bovinocultura de leite, podem ser monitorados, em tempo real, o peso animal, temperatura e cor do leite, contagem de células somáticas e concentração de progesterona, entre vários outros indicadores. O monitoramento comportamental tem permitido acompanhar a saúde e bem-estar de cada indivíduo do rebanho. As vacas leiteiras podem ser também monitoradas para temperatura corporal, indicadores de cio, com sensores de monta ou aumento da atividade física, presença de metrite crônica, pela associação com a menor produção de leite e menor consumo de matéria seca e mensuração individualizada do consumo alimentar. A robótica tem permitido a ordenha automática em países com escassez de mão-de-obra. Os sistemas eletrônicos de monitoramento, que podem acompanhar mais de uma centena de indicadores do animal e do ambiente, geram dados examinados continuamente em programas de análise computacional, que fundamentam as tomadas de decisão. Com o uso de sistemas de inteligência artificial no monitoramento das vacas leiteiras tem-se atingido aumento da eficiência produtiva, com maior sustentabilidade, através do uso racional dos recursos naturais, como a água e alimento, com bem-estar animal e melhor qualidade do produto final.

Prof. Nelson Rodrigo da Silva Martins - CRMV-MG 4809

Editor dos Cadernos Técnicos de Veterinária e Zootecnia

Prof. Renato de Lima Santos - CRMV-MG 4577

Diretor da Escola de Veterinária da UFMG

Prof. Antonio de Pinho Marques Junior - CRMV-MG 0918

Editor-Chefe do Arquivo Brasileiro de Medicina Veterinária e Zootecnia (ABMVZ)

Prof. Nivaldo da Silva - CRMV-MG 0747

Presidente do CRMV-MG

**Universidade Federal
de Minas Gerais**

Escola de Veterinária

Fundação de Estudo e Pesquisa em
Medicina Veterinária e Zootecnia
- FEPMVZ Editora

**Conselho Regional de
Medicina Veterinária do
Estado de Minas Gerais
- CRMV-MG**

www.vet.ufmg.br/editora

Correspondência:

FEPMVZ Editora

Caixa Postal 567

30161-970 - Belo Horizonte - MG

Telefone: (31) 3409-2042

E-mail:

editora.vet.ufmg@gmail.com

**Conselho Regional de Medicina Veterinária do Estado de Minas Gerais
- CRMV-MG**

Presidente:

Prof. Nivaldo da Silva

E-mail: crmvmg@crmvmg.org.br

**CADERNOS TÉCNICOS DE
VETERINÁRIA E ZOOTECNIA**

Edição da FEPMVZ Editora em convênio com o CRMV-MG

**Fundação de Estudo e Pesquisa em Medicina Veterinária e
Zootecnia - FEPMVZ**

Editor da FEPMVZ Editora:

Prof. Antônio de Pinho Marques Junior

Editor do Cadernos Técnicos de Veterinária e Zootecnia:

Prof. Nelson Rodrigo da Silva Martins

Editores convidados para esta edição:

Luiz Gustavo Ribeiro Pereira

Sandra Gesteira Coelho

Revisora autônoma:

Ângela Mara Leite Drumond

Tiragem desta edição:

10.550 exemplares

Layout e editoração:

Soluções Criativas em Comunicação Ltda.

Impressão:

Imprensa Universitária da UFMG

**Permite-se a reprodução total ou parcial,
sem consulta prévia, desde que seja citada a fonte.**

Cadernos Técnicos de Veterinária e Zootecnia. (Cadernos Técnicos da Escola de Veterinária da UFMG)

N.1- 1986 - Belo Horizonte, Centro de Extensão da Escola de Veterinária da UFMG, 1986-1998.

N.24-28 1998-1999 - Belo Horizonte, Fundação de Ensino e Pesquisa em Medicina Veterinária e Zootecnia, FEP MVZ Editora, 1998-1999

v. ilustr. 23cm

N.29- 1999- Belo Horizonte, Fundação de Ensino e Pesquisa em Medicina Veterinária e Zootecnia, FEP MVZ Editora, 1999-Periodicidade irregular.

1. Medicina Veterinária - Periódicos. 2. Produção Animal - Periódicos. 3. Produtos de Origem Animal, Tecnologia e Inspeção - Periódicos. 4. Extensão Rural - Periódicos.

I. FEP MVZ Editora, ed.

Prefácio

Editores convidados

Luiz Gustavo Ribeiro Pereira¹

Sandra Gesteira Coelho²

¹ EMBRAPA Gado de Leite

² EVUFMG

A Zootecnia de precisão pode ser definida como decisão gerencial amparada em tecnologias da informação e comunicação que permitem a melhoria do controle da fonte de variabilidade animal otimizando economicamente, socialmente e ambientalmente o desempenho da fazenda leiteira. Essa tecnologia tem o objetivo de melhorar o gerenciamento dos rebanhos leiteiros e mensurar os indicadores produtivos, comportamentais e fisiológicos em benefício da saúde, produtividade e bem-estar animal. Está baseada na coleta de dados de forma automatizada gerando bancos de dados que devem ser interpretados com o intuito de prover aos usuários suporte para tomadas de decisão. O uso destas tecnologias permite ao produtor enfrentar o cenário cada vez mais competitivo com aumento nos custos de produção e significativa redução da margem de lucro da atividade. Para que a produção de leite se torne rentável, e tenha competitividade frente a outras atividades agropecuárias, é necessário tecnificar as propriedades rurais, ter boa escala de produção e utilizar animais geneticamente superiores. Dessa forma o uso de tecnologias de precisão está se tornando prática cada vez mais

comum em fazendas leiteiras. Entre os principais parâmetros monitorados atualmente estão a produção, composição, temperatura, condutividade, presença de sangue e contagem de células somáticas do leite, ruminação, consumo de alimentos e água, medidores de atividade para detecção de cio, problemas de casco e pesagem corporal das vacas. Todos esses tópicos são abordados nesse volume. Gostaríamos de agradecer a todos os autores desse volume pela disponibilidade em escrever os capítulos abordados aqui trazendo sua experiência profissional para todos os Médicos Veterinários e Zootecnistas do Estado de Minas Gerais. Agradecemos também a Escola de Veterinária pela oportunidade.

Sumário

1. Pecuária leiteira de precisão: conceitos e tecnologias disponíveis 9

Luiz Gustavo Ribeiro Pereira, Cláudio Antônio Versiani Paiva, Marcelo Neves Ribas, Alexandre Lima Ferreira

Entenda o que significa pecuária de precisão.

2. Impactos da pecuária leiteira de precisão na saúde e no comportamento animal 17

Fernanda Samarini Machado, Marcelo Neves Ribas, Sandra Gesteira Coelho, Maria de Fátima Ávila Pires

Entenda como é possível monitorar a saúde do rebanho fazendo diagnóstico precoce de algumas enfermidades.

3. Uso de tecnologias de precisão na reprodução de bovinos leiteiros 29

Bruno Campos de Carvalho, Maria de Fátima Ávila Pires, Wagner Arbex, Gustavo Bervian dos Santos
Conheça as tecnologias que já estão disponíveis para uso na reprodução de bovinos leiteiros.

4. Sistema de ordenha automático 41

Cláudio Antônio Versiani Paiva¹, Luiz Gustavo Ribeiro Pereira, Thierry Ribeiro Tomich, Fernando Pimont Possas

Conheça as tecnologias que já estão disponíveis para ordenha de bovinos.

5. Nutrição de precisão na pecuária leiteira 54

Thierry Ribeiro Tomich, Fernanda Samarini Machado, Luiz Gustavo Ribeiro Pereira, Mariana Magalhães Campos

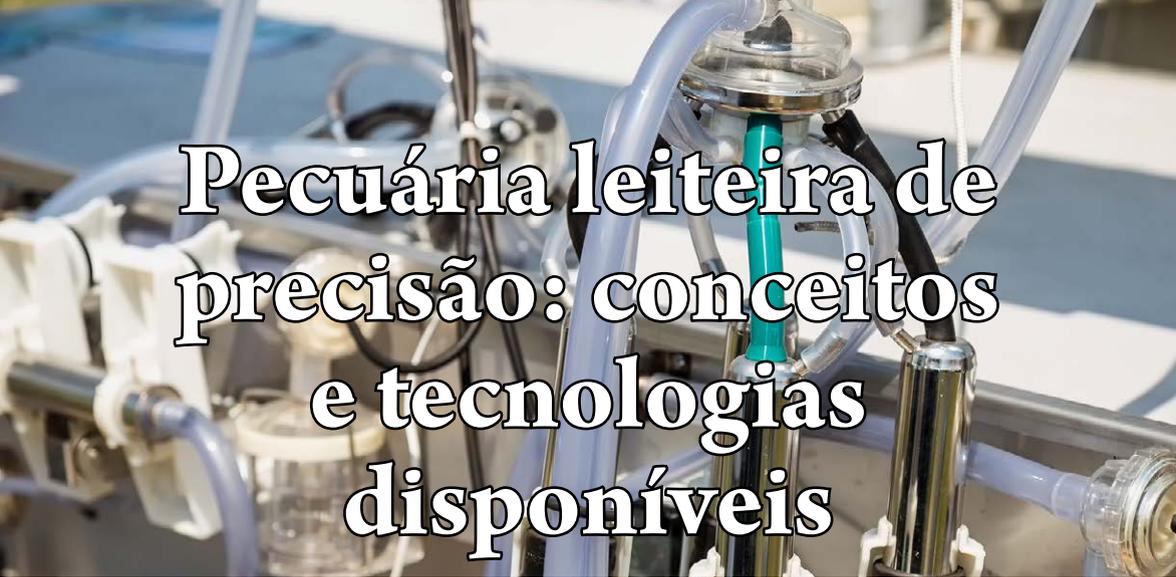
Conheça as metodologias disponíveis para formulação de dietas e precisão da alimentação dos rebanhos.

6. Tecnologias de precisão na avaliação da eficiência alimentar 73

Mariana Magalhães Campos, Juliana Mergh Leão², Juliana Aparecida Mello Lima, Fernanda Samarini Machado

Entenda o que significa eficiência alimentar e veja que técnicas de eficiência alimentar estão sendo usadas.

- 7. Processamento de dados e suporte para tomada de decisão na pecuária leiteira de precisão 86**
Luigi Francis Lima Cavalcanti, Marcelo Neves Ribas, Luiz Gustavo Ribeiro Pereira
Entenda como são gerados os dados da pecuária de precisão.
- 8. Uso da termografia infravermelha na pecuária de precisão 97**
Juliana Mergh Leão, Juliana Aparecida Mello Lima, Fernando Pimont Pôssas, Luiz Gustavo Ribeiro Pereira
Entenda como essa técnica pode ser utilizada para mensurar a eficiência alimentar.
- 9. Cria e recria de precisão 110**
Rafael Alves de Azevedo, Sandra Gesteira Coelho, Bruna Figueiredo Silper, Fernanda Samarini Machado, Mariana Magalhães Campos
Conheça as técnicas de precisão que já estão sendo utilizadas na cria e recria de bezerras leiteiras.
- 10. Manejo de precisão em pastagens 121**
Frederico Osório Velasco, Alex de Matos Teixeira, Diogo Gonzaga Jayme, Lúcio Carlos Gonçalves, Rogério Martins Maurício
Conheça as técnicas de precisão que já estão sendo utilizadas no manejo de pastagens.
- 11. A pecuária leiteira de precisão sob a ótica econômica 137**
Fernanda Carolina Ferreira, Kennya Beatriz Siqueira, Luiz Gustavo Ribeiro Pereira
Conheça os benefícios econômicos do uso da pecuária de precisão.



Pecuária leiteira de precisão: conceitos e tecnologias disponíveis

bigstockphoto.com

Luiz Gustavo Ribeiro Pereira¹ - CRMV-MG5930, Cláudio Antônio Versiani Paiva¹ - CRMV-MG 6203, Marcelo Neves Ribas² - CRMV-MG 8208, Alexandre Lima Ferreira³

¹ Embrapa Gado de Leite, Complexo Multiusuário de Bioeficiência e Sustentabilidade da Pecuária, Coronel Pacheco, Minas Gerais

² Intergado Tecnologia, Contagem, Minas Gerais

³ Bolsista Pós-Doc – CAPES-PVE – Universidade Federal de São João del-Rei/Embrapa

1. Introdução

A pecuária leiteira de precisão pode ser definida como uma postura gerencial amparada em tecnologias da informação e comunicação que permite a melhoria do controle da fonte de variabilidade animal e espacial, otimizando econômica, social e ambientalmente o desempenho da fazenda leiteira.

Tecnologias de precisão têm sido desenvolvidas com o objetivo de melhorar o gerenciamento dos rebanhos leiteiros e mensurar os indicadores produtivos, comportamentais e fisiológicos em benefício da saúde, produtividade e bem-estar animal (Steenefeld *et al.*, 2015). As tecnologias de precisão utilizam sistemas de monitoramento por sensores. Esses sistemas podem ser descritos a partir de quatro níveis de desenvolvimento e utilização (Fig. 1): (I) **tecnologia** (sensor), que mensura algum parâmetro individual da vaca (ex.: consumo de alimento), gerando um con-

junto de **dados**; (II) **interpretação**, que resume as alterações observadas no conjunto de dados gerados pelo sensor (ex.: diminuição do consumo) para produção de uma **informação** sobre o *status* da vaca (ex.: vaca com torção de abomaso); (III) **integração dessa informação** gerada pelo sensor, acrescida a outra informação (ex.: informação de cunho econômico), para proposição de um **aconselhamento** (ex.: operar ou não a vaca doente); (IV) **tomada de decisão** pelo gestor da fazenda ou autonomamente pelo sistema (ex.: o veterinário é acionado). A maioria dos estudos sobre tecnologias de precisão para pecuária de leite realizada até o momento está relacionada à detecção de mastite (25%), fertilidade (33%), problemas de locomoção (33%) e distúrbios metabólicos (16%), e se concentram principalmente nos níveis de desenvolvimento/utilização I e II (Rutten *et al.*, 2013).

O uso de tecnologias de precisão está se tornando uma prática cada vez mais comum

em fazendas leiteiras. Entre os principais parâmetros monitorados atualmente, estão a produção, composição, temperatura, condutividade, presença de sangue e contagem de células somáticas do leite, ruminação, consumo de alimentos e água, medidores de atividade para detecção de cio, problemas de casco e pesagem corporal das vacas (Firk *et al.*, 2002; Pastell *et al.*, 2009; Chapinal *et al.*, 2010; O'Connell *et al.*, 2010; Holman *et al.*, 2011; Bar e Bewley, 2010; Solomon, 2010; van der Tol e van der Kamp, 2010; Miekley *et al.*, 2012; Büchel e Sundrum, 2014; Chizzotii, 2015). Além desses, vários outros parâmetros estão sendo propostos ou encontram-se em desenvolvimento.

2. Perfil de utilização das tecnologias de precisão e implicações sobre a mão de obra

Há várias décadas os sistemas de monitoramento por sensores têm sido utilizados para mensurar indicadores de saúde de vacas individualmente (Hogeveen *et al.*, 2010). As razões para se investir em sistemas de monitoramento por sensores apresentam variação em função do perfil socioeconômico e geográfico do produtor de leite. Entre as motivações que le-

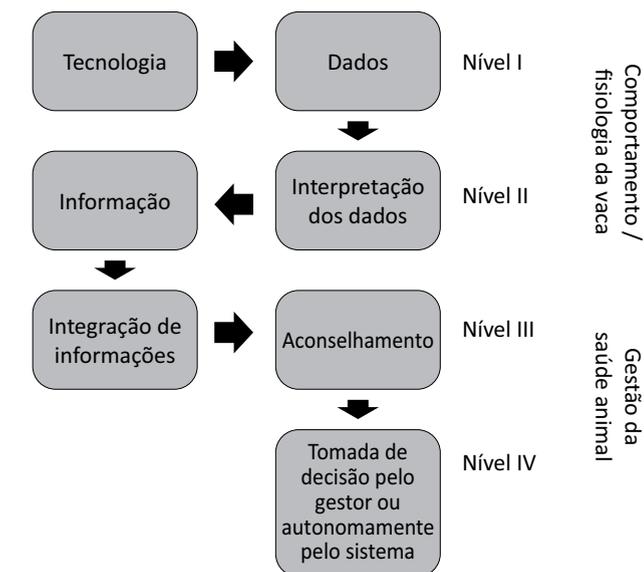


Figura 1. Níveis de desenvolvimento e utilização dos sistemas de monitoramento por sensores na gestão da fazenda leiteira.

vam produtores de leite a investir em tecnologias de precisão destacam-se a expectativa de redução do trabalho e maior facilidade no manejo diário do rebanho (Steenefeld e Hogeveen, 2015). Dessa forma, o uso de sistemas de monitoramento por sensores tende a apresentar um resultado econômico positivo, especialmente devido à redução esperada sobre os custos da mão de obra (Steenefeld *et*

al., 2015). Em pesquisa realizada na Holanda, fazendas que adotaram algum tipo de tecnologia de precisão obtiveram uma redução de até 23% das horas trabalhadas por vaca/semana (Fig. 2) em comparação com aquelas que não faziam uso de sistemas de monitoramento por sensores (Steenefeld e Hogeveen, 2015).

Quanto ao perfil dos produtores que utilizam tec-

Entre os principais parâmetros monitorados atualmente estão a produção, composição, temperatura, condutividade, presença de sangue e contagem de células somáticas do leite, ruminação, consumo de alimentos e água, medidores de atividade para detecção de cio, problemas de casco e pesagem corporal das vacas.

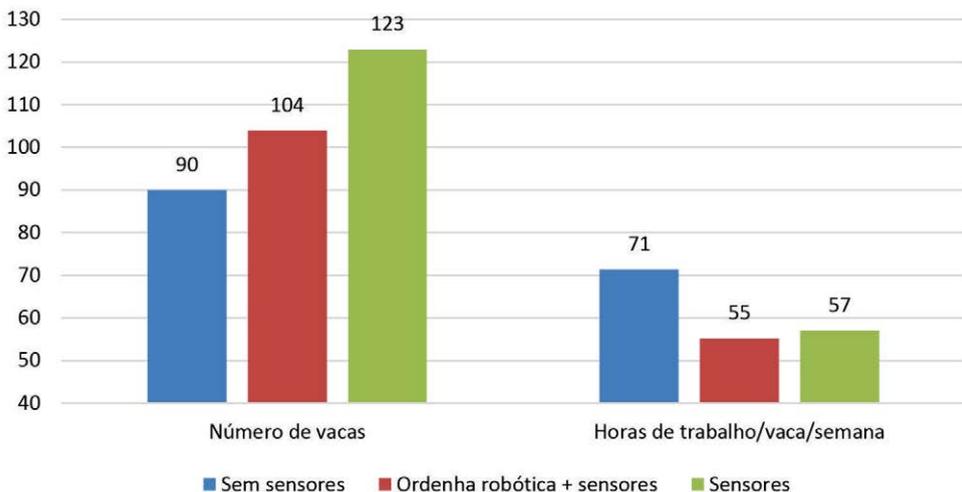


Figura 2. Comparação do número de vacas e do número de horas trabalhadas por vaca/semana entre fazendas que utilizam e outras que não utilizam algum tipo de sensor para vacas.

nologias de precisão, existem os que usam determinados sistemas de monitoramento por sensores porque estão embarcados em algum equipamento adquirido, como, por exemplo, em sistemas de ordenha robotizados. Outros já o fazem de forma deliberada, investindo em sensores para melhorar a eficiência da gestão sobre a saúde do rebanho (Fig. 3) (Steenefeld e Hogeveen, 2015).

Além das questões relacionadas à mão de obra e facilidade de manejo, fatores (Tab. 1) como relação custo benefício, custo do investimento total e simplicidade de uso estão entre os principais critérios analisados no momento da adoção de tecnologias de precisão por produtores americanos (Borchers e Bewley,

2015).

Bewley e Russell (2010) pesquisaram 229 produtores de leite americanos e identificaram que as razões mais comuns para a não adoção de tecnologias de precisão eram: (I) não estarem familiarizados com as tecnologias disponíveis (55%); (II) baixa relação custo/benefício (42%); (III) não saberem o

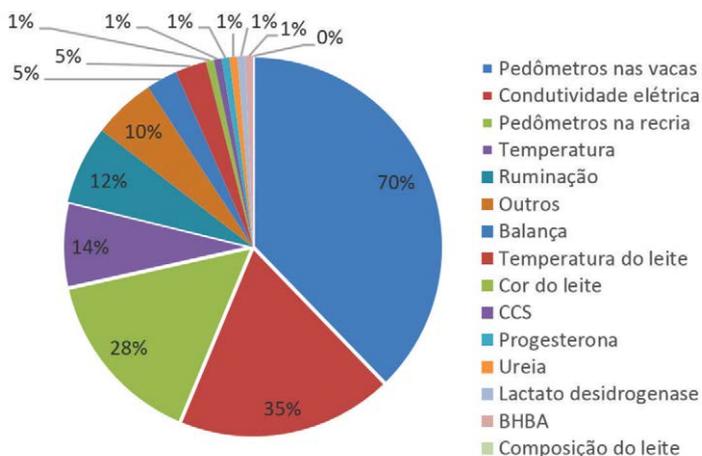


Figura 3. Perfil de utilização de sensores em fazendas holandesas com sistemas de ordenha convencional (adaptado de Steenefeld e Hogeveen, 2015).

Tabela 1. Pesquisa indicando a importância dos critérios de compra de tecnologias de precisão

Parâmetro	Intensidade da Importância (%)					Produtores (n)
	Nenhuma	Pequena	Moderada	Importante	Muito importante	
Relação custo/benefício	0,9	0	3,7	31,5	63,9	108
Custo total do investimento	0,9	1,8	12,8	36,7	47,7	109
Simplicidade de uso	0,9	0,9	10,1	47,7	40,4	109
Desempenho comprovado na prática	1,9	0	7,5	53,3	37,4	107
Assistência técnica	1,8	3,7	17,4	34,9	42,2	109
Compatibilidade com práticas e sistemas já existentes	0,9	4,6	11,9	46,8	35,8	109
Demanda de tempo para uso da tecnologia	1,9	2,8	15,7	45,4	34,3	108

Valores de cálculo considerados: nenhuma = 1; pequena = 2; moderada = 3; importante = 4; muito importante = 5. Fonte: Adaptado de Borchers e Bewley (2015).

que fazer com tantas informações fornecidas pelos sistemas (36%); (IV) tempo insuficiente para usufruir da tecnologia (31%); (V) falta de percepção do valor econômico (30%); (VI) tecnologias muito difíceis ou complexas para se usar (29%). Ademais, incertezas sobre as condições de mercado, do desempenho e reais benefícios das novas tecnologias e, ainda, problemas relacionados à adaptação da gestão e fatores organizacionais têm sido apontados (Tab. 2) como decisivos para a não adoção das tecnologias de precisão por parte dos produtores de leite (Bewley *et al.*, 2010).

Contudo, o uso de tecnologias de precisão tem se tornado cada vez mais importante e necessário para que os produtores de leite

possam aperfeiçoar suas práticas de gestão e aumentar a eficiência dos sistemas de produção (El-Osta e Morehart, 2000).

3. Implicações sobre a produtividade, saúde e bem-estar animal

De forma geral, os sistemas de precisão disponíveis para a pecuária leiteira são compostos por equipamentos capazes de mensurar individualmente parâmetros fisiológicos ou comportamentais e detectar alterações relativas às condições de saúde da vaca, requerendo uma intervenção por parte do ges-

Tabela 2. Fatores que influenciam a adoção de tecnologias de precisão

Fatores	Exemplos
Incertezas sobre a decisão de investimento	Condições de mercado (Bewley <i>et al.</i> , 2010)
	Promessas em excesso promovidas pelo vendedor
	Incerteza sobre os atuais benefícios, conhecimento de oportunidades
Desafios da implementação	Existência de redes de aprendizagem (fragmentadas, subqualificadas, falta de conhecimento)
	Desempenho das tecnologias <i>versus</i> expectativas
	Adaptação da gestão (mudança de rotina, papel da tecnologia e das pessoas)
	Entrada de dados, mudança de processos/estrutura para incorporação e entrada de dados, análise de dados, gerenciamento por exceção (De Koning, 2010)
Fatores organizacionais	Falta de foco em P&D pela indústria para integração das tecnologias com os sistemas de produção

Fonte: Eastwood (2011).

tor da fazenda (Steenefeld *et al.*, 2015). Entre os sensores considerados de maior utilidade por produtores americanos, estão os de detecção de mastite, de cio e produção de leite (Borchers e Bewley, 2015) (Tab. 3).

No entanto, ainda não é sabido se o uso desses sensores também melhora os índices de saúde e produção, como, por exemplo, redução da média de dias ao primeiro serviço ou diminuição da contagem de células somáticas do leite individual (Steenefeld *et al.*, 2015). Para um melhor aproveitamento das tecnologias de precisão, o produtor deve ter conhecimento e fazer a gestão diária das informações geradas pelo sistema.

Steenefeld *et al.* (2015) demonstraram que a contagem de células somáticas (CCS) do leite de tanques individuais diminuiu em fazendas com sistemas de ordenha convencional, ao passo que esse parâmetro aumentou em fazendas com ordenha robotizada (AMS). Normalmente, a aquisição de sensores para detecção de mastite ocorre de forma delibe-

rada em fazendas convencionais, ou seja, há um objetivo claro de utilização do sistema de monitoramento. Já em fazendas com AMS, em geral tais sistemas encontram-se embutidos no equipamento como forma de torná-los mais acessíveis do ponto de vista econômico, e, muitas vezes, despertando baixo interesse do produtor em utilizá-los. Outro aspecto muito importante diz respeito à presença do ordenhador nos sistemas convencionais de ordenha. Nessas fazendas, o ordenhador pode checar imediatamente as vacas que apresentam algum tipo de alerta sinalizado pelos sensores. Além disso, vacas com mastite podem ser identificadas durante a ordenha mesmo sem a presença de alerta indicado pelos sensores (Steenefeld e Hogeveen, 2015).

O desempenho da detecção do cio pode ser melhorado pela utilização de sistemas de monitoramento por sensores. Esses sistemas podem detectar cerca de 80 a 85% de vacas em cio, enquanto o método visual normalmente detecta apenas 55% das vacas nessa

Tabela 3. Pesquisa indicando a importância da utilidade das atuais e potenciais tecnologias de precisão

Parâmetro	Intensidade da Importância (%)					Produtores (n)
	Nenhuma	Pequena	Moderada	Importante	Muito importante	
Mastite	0,0	0,0	1,9	19,4	78,7	108
Cio	0,0	0,9	2,8	16,5	79,8	109
Produção diária de leite	0,0	0,9	6,4	11,9	80,7	109
Atividade da vaca	1,8	1,8	5,5	16,5	74,3	109
Temperatura	3,8	2,8	11,3	22,6	59,4	106
Comportamento alimentar	0,9	0,0	15,7	35,2	48,1	108
Composição do leite	0,9	4,6	13,8	27,5	53,2	109
Laminite	0,0	4,6	17,4	26,6	51,4	109
Ruminação	3,8	3,8	18,9	28,3	45,3	106
Saúde de casco	0,9	3,7	19,4	39,8	36,1	108
Atividade ruminal	4,6	3,7	24,1	27,8	39,8	108
Comportamento deitada/de pé	2,8	8,3	25,7	33,9	29,4	109
pH do rúmen	5,5	11	26,6	29,4	27,5	109
Movimento de mandíbula e mastigação	4,6	13	25,9	29,6	26,9	108
Frequência respiratória	7,5	13,2	29,2	32,1	17,9	106
Peso da vaca	8,3	18,5	30,6	24,1	18,5	108
Score de condição corporal	9,2	12,8	36,7	25,7	15,6	109
Frequência cardíaca	11,2	16,8	38,3	21,5	12,1	107
Posição e localização animal	19,3	23,9	31,2	13,8	11,9	109
Emissão de metano	34,3	30,6	20,4	10,2	4,6	108

Valores de cálculo considerados: nenhuma = 1, pequena = 2, moderada = 3, importante = 4 e muito importante = 5. Fonte: Adaptado de Borchers e Bewley (2015).

mesma condição (Firk *et al.*, 2002; Hockey *et al.*, 2010; Kamphuis *et al.*, 2012). No entanto, nem sempre o aumento na detecção do cio pelos sistemas de monitoramento resulta em melhoria dos índices de idade ao primeiro parto e dias ao primeiro serviço. Em grande parte das vezes, os produtores que fazem uso de sistemas de detecção de cio realmente apresentam melhores e maiores taxas de detecção de cio, porém ainda utilizam as mesmas regras sobre o melhor momento para a inseminação, resultando em alterações pouco efetivas nos parâmetros reprodutivos. Outro problema no uso das tecnologias de precisão diz respeito à motivação do investimento. Alguns produtores investem em sensores de detecção de cio apenas para melhorar a taxa de detecção de cio e reduzir o trabalho (Steenefeld e Hogeveen, 2015), com menos foco em melhorar os índices de saúde e zootécnicos do rebanho (Steenefeld *et al.*, 2015).

Em relação à produção de leite, Steenefeld *et al.* (2015) observaram que a utilização dos sensores embutidos no sistema de ordenha automático (AMS) resultou em maior produção de leite do rebanho. No entanto, não puderam afirmar se o aumento da produção de leite ocorreu em função da maior taxa de frequência de ordenha, normalmente observada nesse tipo de sistema de produção (Kruip *et al.*, 2002; Wagner-Storch and Palmer, 2003; Speroni *et al.*, 2006), ou se foi decorrente do uso do sistema de sensores.

4. Considerações finais

As oportunidades ligadas à pecuária de precisão podem surgir tanto dentro como fora da porteira da fazenda. Do lado de dentro, os produtores podem se beneficiar nas áreas de automação e tomadas de decisões mais eficientes, ao fazer melhor uso dos recursos e cada vez mais onerosos recursos.

Do lado de fora da porteira há também potenciais benefícios do uso das tecnologias de precisão entre os mais diversos *stakeholders*. O uso dessas tecnologias pode contribuir para garantir a qualidade e a segurança do alimento para as indústrias de laticínio, por exemplo. Os técnicos podem interagir com os sistemas de precisão para alimentar as suas próprias análises, e oferecer serviços sobre o uso das tecnologias de precisão e na capacitação dos produtores. Isso pode incluir, por exemplo, o monitoramento remoto de parâmetros de desempenho, como ganho de peso e produção de leite.

As centrais de melhoramento genético podem se beneficiar do acesso aos dados diários de ordenha individual e outros dados armazenados. Os bancos de dados de cada sistema de produção poderão ser conectados aos bancos de dados da indústria para permitir comparações entre sistemas e desenhar políticas de extensão.

5. Referências bibliográficas

1. STAMER, E.; JUNGE, W.; KRIETER, J. Automation of estrus detection in dairy cows: A review. *Livest. Prod. Sci.*, v.75, p.219-232, 2002.
2. HOCKEY, C. D.; MORTON, J. M.; NORMAN, S. T.; MCGOWAN, M. R. Evaluation of a neck mounted 2-hourly activity meter system for detecting cows about to ovulate in two paddock- BAR, D., SOLOMON, R. Ruminant collars: What can they tell us? In: PROC. FIRST NORTH AM. CONF. PRECISION DAIRY MANAGEMENT. Toronto, Canada, p.214-215, 2010.
3. BUCHEL, S., SUNDRUM, A. Short communication: Decrease in rumination time as an indicator of the onset of calving. *J. Dairy Sci.*, v.97, p.3120-3127, 2014.
4. BEWLEY, J. Precision dairy farming: Advanced analysis solutions for future profitability. In: PROC. 1ST NORTH AM. CONF. PRECIS. DAIRY MANAG. Toronto, Canada. Progressive Dairy Operators: Guelph, ON, Canada, p.2-5, 2010.
5. BEWLEY, J. M.; RUSSELL, A. Reasons for slow adoption rates of precision dairy farming technologies: evidence from a producer survey. In: PROCEEDINGS OF THE FIRST NORTH AMERICAN CONFERENCE

- ON PRECISION DAIRY MANAGEMENT. Toronto, Canada, p.30-31, 2010.
6. BEWLEY, J. M.; BOEHLJE, M. D.; GRAY, A. W.; HOGVEEN, H.; KENYON, S. J.; EICHER, S. D.; RUSSELL, M. A. S. Stochastic simulation using @Risk for dairy business investment decisions. *Agricultural Finance Review*, 2010.
 7. BORCHERS, M. R.; BEWLEY, J. M. An assessment of producer precision dairy farming technology use, pre-purchase considerations, and usefulness. *J. Dairy Sci.*, v.98, p.4198-4205, 2015.
 8. CHAPINAL, N.; DE PASSILLE, A. M.; RUSHEN, J.; WAGNER, S. Automated methods for detecting lameness and measuring analgesia in dairy cattle. *J. Dairy Sci.*, v.93, p.2007-2013, 2010.
 9. CHIZZOTTI, M. L.; MACHADO, F. S.; VALENTE, E. E. L.; PEREIRA, L. G. R.; CAMPOS, M. M.; TOMICH, T. R.; COELHO, S. G.; RIBAS, M. N. Technical note: Validation of a system for monitoring individual feeding behavior and individual feed intake in dairy cattle. *J. Dairy Sci.*, v.98, p.3438-3442, 2015.
 10. DE KONING, K. Automatic milking - common practice on dairy farms. In: PROCEEDINGS OF THE FIRST NORTH AMERICAN CONFERENCE ON PRECISION DAIRY MANAGEMENT. Toronto, Canada, 2010.
 11. EASTWOOD, C. R. Applying innovation systems thinking to high challenge technologies: Dairy ICT and precision dairy as a case study. In: UM13556 - Milestone Report 1 for Dairy Australia, Melbourne. Victoria: Rural Innovation Research Group, The University of Melbourne, 2011.
 12. EASTWOOD, C.; JAGO, J. Precision dairy farming in New Zealand and Australia: A discussion document for trans-Tasman collaboration between Dairy NZ and Dairy Australia. In: Report produced for Dairy NZ and Dairy Australia, 2012.
 13. EASTWOOD, C. R.; CHAPMAN, D. F.; PAINE, M. S. Networks of practice for co-construction of agricultural decision support systems: Case studies of precision dairy farms in Australia. *Agric. Syst.*, v.108, p.10-18, 2012.
 14. EL-OSTA, H. S.; MOREHART, M. J. Technology adoption and its impact on production performance of dairy operations. *Rev. Ag. Econ.*, v.22, p.477-498, 2000.
 15. FIRK, R.; based Australian dairy herds. *Reprod. Domest. Anim.*, v.45, p.107-117, 2010.
 16. HOGVEEN, H.; KAMPHUIS, C.; STEENEVELD, W.; MOLLENHORST, H.
 17. Sensors and clinical mastitis - The quest for the perfect alert. *Sensors* (Basel Switzerland) v.10, p.7991-8009, 2010.
 18. HOLMAN, A.; THOMPSON, J.; ROUTLY, J. E.; CAMERON, J.; JONES, D. N.; GROVE-WHITE, D.; SMITH, R. F.; DOBSON, H. Comparison of estrus detection methods in dairy cattle. *Vet. Rec.*, v.169, p.47, 2011.
 19. JAGO J.; DAVIS, K. L.; JENSEN, R. Future innovative dairy technologies to address constraints of labor, information collection and decision making on farms. In: PROCEEDINGS OF THE AUSTRALASIAN DAIRY SCIENCE SYMPOSIUM. Melbourne, p.492-507, 2007.
 20. JAGO, J.; EASTWOOD, C.; KERRISK, K.; YULE, I. Precision dairy farming in Australasia: adoption, risks and opportunities. In: Proceedings of the 5th Australasian Dairy Science Symposium, 2012.
 21. KAMPHUIS, C.; DELARUE, B.; BURKE, C. R.; JAGO, J. Field evaluation of 2 collar-mounted activity meters for detecting cows in estrus on a large pasture-grazed dairy farm. *J. Dairy Sci.*, v.95, p.3045-3056, 2012.
 22. KRUIP, T. A. M.; MORICE, H.; ROBERT, M.; OUWELTJES, W. Robotic milking and its effect on fertility and cell counts. *J. Dairy Sci.*, v.85, p.2576-2581, 2002.
 23. MIEKLEY, B.; TRAUlsen, I.; KRIETER, J. Detection of mastitis and lameness in dairy cows using wavelet analysis. *Livest. Sci.*, v.148, p.227-236, 2012.
 24. O'CONNELL, J.; TOGERSEN, F. A.; FRIGGENS, N. C.; LOVENDAHL, P.; HOJSGAARD, S. Combining cattle activity and progesterone measurements using hidden semi-Markov models. *J. Agric. Biol. Environ. Stat.*, v.16, p.1-16, 2010.
 25. PASTELL, M.; TIUSANEN, J.; HAKOJARVI, M.; HANNINEN, L. A wireless accelerometer system with wavelet analysis for assessing lameness in cattle. *Biosystems Eng.*, v.104, p.545-551, 2009.
 26. RUTTEN, C. J.; VELTHUIS, A. G. J.; STEENEVELD, W.; HOGVEEN, H. Invited review: Sensors to support health management on dairy farms. *J. Dairy Sci.*, v.96, p.1928-1952, 2013.
 27. SPERONI, M.; PIRLO, G.; LOLLI, S. Effect of automatic milking systems on milk yield in a hot environment. *J. Dairy Sci.*, v.89, p.4687-4693, 2006.
 28. STEENEVELD, W.; HOGVEEN, H. Characterization of Dutch dairy farms using sensor systems for cow management. *J. Dairy Sci.*, v.98, p.709-717, 2015.
 29. STEENEVELD, W.; VERNOOIJ, J. C. M.; HOGVEEN, H. Effect of sensor systems for cow management on milk production, somatic cell count, and reproduction. *J. Dairy Sci.*, v.98, p.3896-3905, 2015.
 30. VAN DER TOL, R.; VAN DER KAMP, A. Time series analysis of live weight as health indicator. In: PROC. FIRST NORTH AM. CONF. PRECISION DAIRY MANAGEMENT. Toronto, Canada, p.230-231, 2010.
 31. WAGNER-STORCH, A. M.; PALMER, R. W. Feeding behavior, milking behavior, and milk yields of cows milked in a parlor versus an automatic milking system. *J. Dairy Sci.*, v.86, p.1494-1502, 2003.



Impactos da pecuária leiteira de precisão na saúde e no comportamento animal

bigstockphoto.com

Fernanda Samarini Machado¹ - CRMV-MG 11138, Marcelo Neves Ribas² - CRMV-MG 8208
Sandra Gesteira Coelho³ - CRMV/MG-2335, Maria de Fátima Ávila Pires

¹ Doutor Zootecnia UFGM - Embrapa Gado de leite

² Doutor Zootecnia UFGM - Intergado

³ Doutor Ciência Animal - EVUFGM

Introdução

A pecuária leiteira, a cada dia que passa, tem se tornado uma atividade altamente desafiadora. O aumento nos custos de produção, principalmente dos alimentos utilizados nas dietas dos animais, tem provocado redução significativa da margem de lucro da atividade. Para que a produção de leite se torne rentável, e tenha competitividade frente a outras atividades agropecuárias, é necessário tecnificar as propriedades rurais, ter boa escala de produção e utilizar animais geneticamente superiores. Entretanto, é fundamental não perder o poder de adaptação, eficiência reprodutiva e resistência às doenças desses animais, já que essas características também estão direta-

te associadas à eficiência econômica dos sistemas de produção.

Os programas de melhoramento genético foram eficientes na seleção de animais cada vez mais produtivos. Dessa forma, maximizar o consumo de dietas com alto potencial de fermentação no rúmen se tornou necessário. Por outro lado, essas “melhorias” nos sistemas de produção, no manejo nutricional e dos animais trouxeram impactos negativos, tais como: aumento nas condições de estresse dos animais e na ocorrência de desordens metabólicas e infecciosas (Fleischer *et al.*, 2001; Grummer *et al.*, 2004; Reist *et al.*, 2003).

Em bovinos leiteiros, a ocorrência de doenças pode reduzir a eficiência produtiva de três formas: por meio da redução da pro-

dução de leite, da redução do desempenho reprodutivo e do encurtamento da expectativa de vida devido ao aumento das taxas de descarte (Grohn *et al.*, 2003). O diagnóstico precoce ou a predição de doenças podem encurtar sua duração, reduzir as taxa de descarte e, conseqüentemente, minimizar as perdas econômicas. Dessa forma, a identificação precoce de animais doentes é um componente crítico de qualquer sistema de produção, sendo de grande interesse o desenvolvimento de métodos, dispositivos e processos para o monitoramento da saúde dos animais.

O diagnóstico precoce ou a predição de doenças podem encurtar sua duração, reduzir as taxa de descarte e, conseqüentemente, minimizar as perdas econômicas.

Monitoramento da saúde e detecção precoce de doenças

Historicamente, os produtores têm utilizado experiência e avaliações visuais como forma de detecção dos animais que apresentam algum sinal clínico de estresse ou doença, e também de animais mais eficientes. Essa inestimável habilidade nunca poderá ser totalmente substituída ou eliminada; porém, a falta de profissional qualificado e, principalmente, o aumento dos rebanhos têm dificultado esse trabalho (Hamrita *et al.*, 1997). O exame clínico realizado por um veterinário é a melhor forma de detecção e diagnóstico de doenças; entretanto, esses exames são pouco frequentes na maioria das propriedades leiteiras e muitos casos de doenças podem não ser diagnosticados. Além disso, a realização frequente de exames em grandes rebanhos pode demandar muito tempo e dinheiro (Urton *et al.*, 2005).

No processo de busca pelo aumento da eficiência produtiva, a aplicação do concei-

to de pecuária de precisão vem se tornado cada vez mais frequente, e tem como base o uso de tecnologias para mensurar, de forma individualizada, indicadores produtivos, fisiológicos e comportamentais dos animais. Algumas tecnologias de precisão já vêm sendo utilizadas em fazendas leiteiras, como o registro diário da produção de leite e do peso vivo, o uso de detectores de estro e sensores para avaliar a condutividade elétrica do leite. Outras tecnologias de precisão também têm sido propostas para mensurar consumo de alimentos e água, comportamento alimentar, batimento cardíaco, frequência respiratória, temperatura da superfície corporal, pH ruminal, atividade e posição dos animais, entre outros. Diversos trabalhos já demonstraram o potencial da avaliação do comportamento animal como forma de detecção de doenças subclínicas, bem como a detecção precoce de sinais clínicos, o que aumenta a eficácia e reduz os custos do tratamento, como também contribui com o bem-estar dos animais (Gonzales *et al.*, 2008; Azizi, 2008; Huzzey *et al.*, 2007; Urton *et al.*, 2005; Owens *et al.*, 1998).

Avaliação do consumo e comportamento alimentar

Na última década, vários estudos apresentaram evidência de que problemas de saúde em bovinos leiteiros podem ser identificados e preditos por mudanças nos padrões comportamentais, particularmente no comportamento alimentar. As doenças afetam o comportamento alterando-o, em curto ou em longo prazo, sendo esse efeito uma estratégia coordenada do corpo para debelar a infec-

ção, que inclui febre e alterações psicológicas (Borderas, 2009). Entre as alterações no comportamento frente à doença estão a hipofagia, letargia, hiperalgesia, hiper ou hipotermia, redução do aprendizado e da memória, redução nos cuidados com o próprio corpo, redução na exploração física e social do ambiente e mudanças na libido.

Essas mudanças servem para direcionar os esforços para alterações fisiológicas que preservem a vida (Elsasser *et al.*, 2004) e são identificadas por alterações comportamentais que antecedem os sinais clínicos da doença em até quatro dias, frequentemente em até 24 horas antes da mudança de temperatura corporal. Ou seja, os animais quando saudáveis apresentam um padrão de comportamento, e a detecção de alterações nesses padrões comportamentais são indicativos de que algo está errado.

Oliveira Junior (2015) avaliou o efeito da tristeza parasitária sobre o consumo e o comportamento ingestivo de bezerras da raça

girolando no período pós desmame (89 a 154 dias de idade). Os 35 animais avaliados foram manejados em piquetes coletivos e tinham livre acesso aos cochos e bebedouros eletrônicos que registravam o comportamento e o consumo de alimento e água, respectivamente. Os animais diagnosticados com tristeza parasitária apresentaram durante todo o período experimental uma redução de consumo de alimento (2,2 vs. 2,6kg/dia) e redução de consumo de água (11,8 vs. 10,4L/dia). Quando avaliado em relação ao dia do diagnóstico, o consumo de alimento foi inferior para os animais doentes nos dias -1, 0 e +1, e o comportamento ingestivo, determinado pelo número de visitas ao cocho com ingestão, foi inferior para os animais doentes a partir do dia -1 até o dia +4 (Fig. 1). Os equipamentos eletrônicos se mostraram eficientes na detecção precoce de tristeza parasitária em bezerras leiteiras.

Azizi (2008) avaliou o consumo, o comportamento ingestivo e a produção de leite

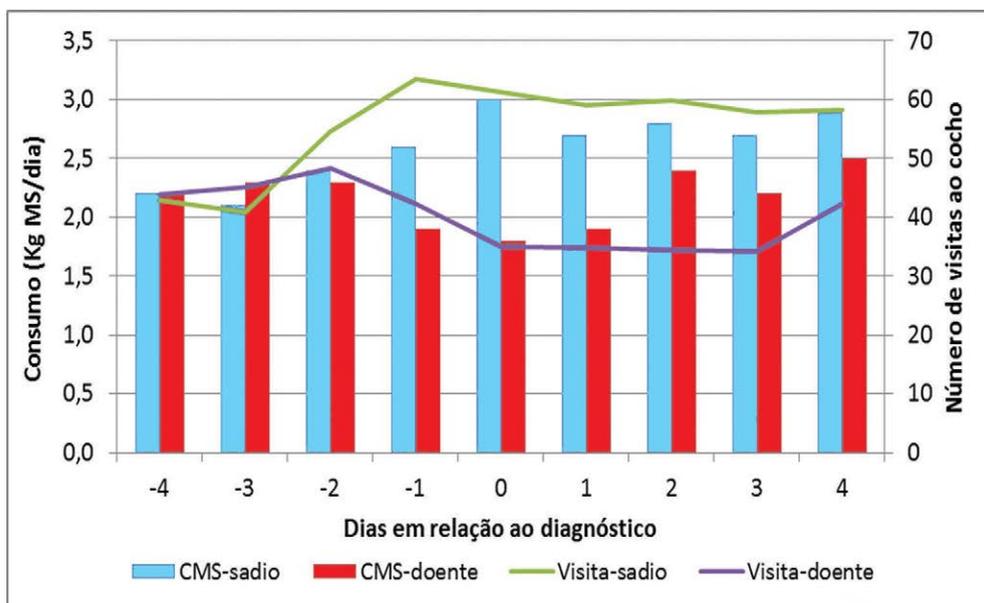


Figura 1. Consumo de matéria seca – CMS (kg/dia) – e número de visitas ao cocho com ingestão (n/dia) em bezerras saudáveis ou doentes durante os dias em relação ao diagnóstico – dia 0 (-4 a +4).

de vacas da raça Holandês do 7° ao 105° dia de lactação. Para a avaliação do comportamento e do consumo, foram utilizados cochos eletrônicos que identificam eletronicamente os animais e registram seu consumo em cada evento gerado no equipamento. Os animais diagnosticados com sinais clínicos de desordens metabólicas (febre do leite, cetose, retenção de placenta e deslocamento de abomaso) apresentaram até o 21° dia de lactação menor tempo de ingestão (210,78 vs. 236,80min/dia), menor consumo de matéria seca (16,9 vs. 19,98kg/dia), menor produção de leite (36,84 vs. 41,31kg/dia) e menor taxa de ingestão (86,08 vs. 92,85gMS/min) quando comparados com os animais normais (Tab. 1).

Os animais que apresentaram alteração nos parâmetros sanguíneos (aumento de ácido graxo não esterificado, β -hidroxibutirato e aspartato amino transferase sem, porém, apresentar sinais clínicos) apresentaram menor tempo de ingestão (menos 43,59min/dia na 2° semana de lactação e menos 39,42min/dia na 3° semana de lactação) e menor consumo de matéria (menos 1,94kg/dia na 2° semana de lactação e menos 2,83kg/dia na 3° semana de lactação) (Tab. 2). O consumo e o comportamento foram eficientes para detecção de animais com sinais clínicos e subclínicos no período pós-parto; já os dados de produção

de leite não permitiram a detecção de animais com sinais subclínicos a partir da 3ª semana de lactação.

Dollinger e Kaufmann (2012) avaliaram a influência de patologias clínicas e subclínicas sobre o consumo e comportamento ingestivo de 138 vacas leiteiras do 28° ao 56° dia pós-parto. Do total de animais avaliados, 15 vacas foram consideradas saudáveis e seus dados foram utilizados para se determinar parâmetros ideais para o rebanho. As demais 123 vacas apresentaram sinais clínicos de distúrbios metabólicos ou foram diagnosticadas com patologia subclínica a partir da avaliação de amostras de sangue e urina (Tab. 3). Apesar de não ter sido observada diferença significativa no consumo, os animais saudáveis (grupo referência) apresentaram um menor tempo de ingestão diária de alimentos (177,8 vs 189,4min.); porém, a taxa de ingestão foi maior (228,91 vs 221,22g de MN por min.) que a apresentada pelos animais doentes (clínico ou subclínico). Os animais doentes, para conseguirem atingir o mesmo consumo, precisaram visitar os cochos mais vezes por refeição (3,5 vs. 3,3), além de apresentarem um maior número de refeições por dia (6,9 vs. 6,2) em comparação ao grupo referência. De acordo com os dados apresentados, os animais doentes ou com alterações subclínicas tendem a evitar interações agressivas e são facilmente afastadas dos cochos pelas vacas

Tabela 1 - Consumo de matéria seca, comportamento ingestivo e produção de leite de vacas com sinais clínicos de desordens metabólicas (CDM) e vacas saudáveis (NORMAL) durante os primeiros 21 dias de lactação

Parâmetros	CDM	NORMAL
Tempo de ingestão (minutos/dia)	210,78	236,80
Consumo de matéria seca (kg/dia)	16,9	19,98
Taxa de consumo (gMS/dia)	86,08	92,85
Produção de leite (kg/dia) ¹	36,84	41,31

¹Produção de leite corrigida para mesmo teor de gordura.

Fonte: Adaptado de Azizi (2008).

Tabela 2 – Consumo de matéria seca, comportamento ingestivo e produção de leite de vacas com sinais subclínicos de desordens metabólicas (SCDM) e vacas saudáveis (NORMAL) durante a segunda e a terceira semana de lactação

Parâmetros	2ª semana de lactação		3ª semana de lactação	
	SCDM	NORMAL	SCDM	NORMAL
Tempo de ingestão (minutos/dia)	190,04	233,63	216,99	256,41
Consumo de matéria seca (kg/dia)	17,36	19,3	18,61	21,44
Taxa de consumo (gMS/dia)	102,88	89,42	95,18	95,06
Produção de leite (kg/dia) ¹	37,29	39,01	43,72	42,56

¹Produção de leite corrigida para mesmo teor de gordura.

Fonte: Adaptado de Azizi (2008).

saudáveis e/ou dominantes.

Vargas (2015) avaliou o efeito da metrite em vacas leiteiras da raça Holandês no período pós-parto. Os animais foram monitorados por cochos e bebedouros eletrônicos e plataforma de pesagem voluntária do parto até a 12ª semana pós-parto. Os animais diagnosticados com metrite apresentaram menor peso vivo voluntário (598,12 vs. 624,38kg), menor produção de leite (29,79 vs. 31,21kg/dia), menor consumo de alimento (18,65 vs.

20,65kg de MS/dia) e menor consumo de água (75,74 vs. 87,38L/dia). O consumo de matéria seca (% peso vivo) foi inferior para os animais com metrite nas semanas 1, 2 e 11 pós-parto; porém, após o tratamento, os animais doentes reestabeleceram o consumo em relação aos animais saudáveis; já o número de visitas aos cochos eletrônicos com ingestão foi maior para os animais doentes nas semanas 2, 4 e 5 pós-parto (Fig. 2). O menor número de ingestão pode ser justificado pelo maior des-

Tabela 3 – Consumo de matéria natural e comportamento ingestivo de vacas leiteiras saudáveis (grupo referência) ou doentes (clínico ou subclínico) do 28º ao 56º dia de lactação

Parâmetros	Grupo referência (saudável)	Grupo doente (clínico ou subclínico)
Tempo de ingestão (min./dia)	177,8	189,4
Consumo (kg de matéria natural)	40,7	41,9
Taxa de consumo (g de matéria natural/min.)	228,91	221,22
Número de visitas diárias ao cocho	21,9	26,4
Número de refeições diárias	6,2	6,9
Duração das visitas ao cocho (min.)	8,1	7,2
Duração das refeições (min.)	36,3	34,9
Tempo em ingestão durante a refeição (min.)	28,8	27,5
Número de visitas ao cocho por refeição	3,3	3,5

Fonte: Adaptado de Dollinger e Kaufmann (2012).

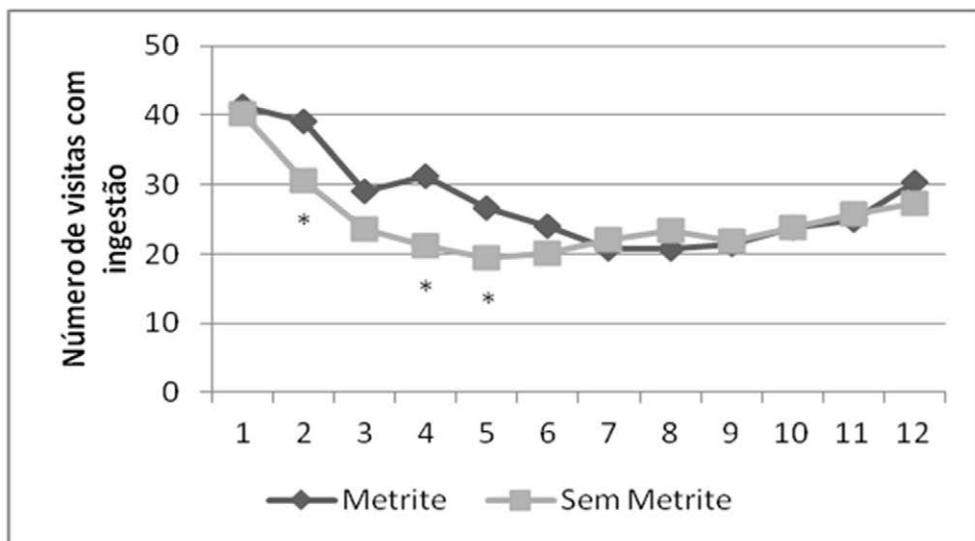
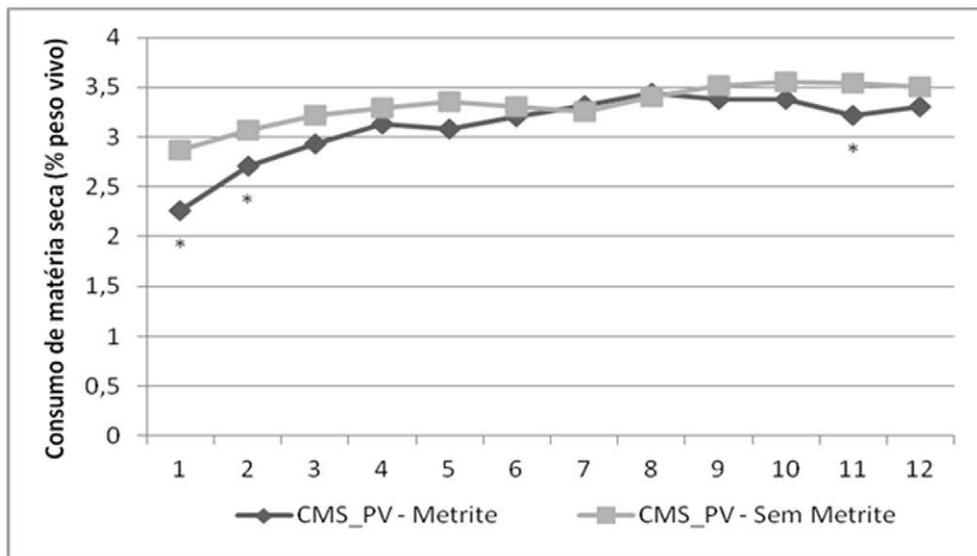


Figura 2 – Consumo de matéria seca (% do peso vivo) e número de visitas realizadas em cochos com ingestão de alimento de vacas da raça Holandês saudáveis (sem metrite) ou doentes (metrite) durante as primeiras 12 semanas de lactação.

locamento das vacas doentes do cocho pelas vacas saudáveis.

Também associando o comportamento ingestivo com quadros de metrite, Hammon *et al.* (2006) relataram menor consumo de matéria seca (4,4kg a menos) nas duas sema-

nas anteriores ao parto em vacas que desenvolveram metrite puerperal, em comparação com animais sadios (Fig. 3). O menor consumo das vacas com metrite também foi observado até a 5ª semana pós-parto (2,27 a 3,64kg de matéria seca a menos que as vacas sadias).

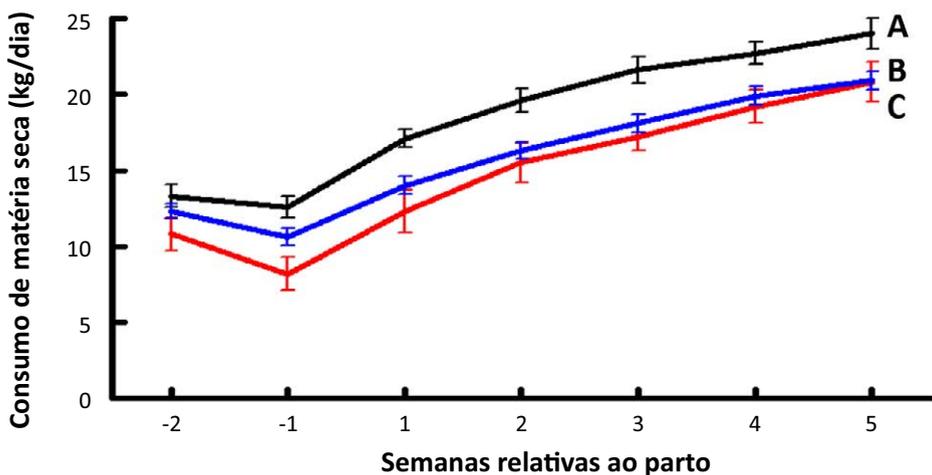


Figura 3: Consumo de matéria seca (kg/dia) durante o período de transição de vacas saudáveis (A), vacas que apresentaram endometrite no pós-parto (B) e vacas que apresentaram metrite no pós-parto (C).

Fonte: Adaptado de Hammon *et al.* (2006).

A produção média diária de leite foi 8,3kg/d menor nas vacas com metrite grave e 5,7kg/d menor nas vacas com metrite leve, em relação a vacas que se mantiveram sadias até os 21 dias após o parto. Esse trabalho fornece claras evidências de que a redução do tempo despendido na alimentação e a ingestão de matéria seca (IMS) durante o período que antecede o parto aumentam o risco de ocorrência de metrite pós-parto em vacas. Entretanto, não se sabe se a redução da IMS e do tempo despendido na alimentação são a causa da metrite ou um efeito de alguma outra alteração ocorrida no período pré-parto. As vacas que desenvolveram metrite pós-parto também se envolveram em menor número de interações agressivas no cocho durante a semana anterior ao parto e evitaram o cocho durante os períodos de maior competição por alimento.

Essa mesma alteração na disputa por espaço no cocho foi observada por DeVries e von Keyserlingk (2005). Em um estudo realizado por esses autores, observou-se que, du-

rante a semana que antecede o parto, as vacas que evoluem para metrite grave são deslocadas do cocho com mais frequência do que as vacas que permanecem sadias. Além disso, durante o período que antecede o parto, as vacas que adoecem posteriormente passam menos tempo comendo e consomem menos matéria seca durante os períodos de maior motivação para buscar alimento, isto é, logo após o trato, quando a palatabilidade e a qualidade estão no auge. As vacas que evoluem posteriormente para metrite grave apresentam baixa motivação para competir pelo acesso ao alimento nesses momentos de maior disputa, indicando que, socialmente, representam os indivíduos subordinados do grupo.

Registro de atividade e tempo de descanso

Existem evidências de que as alterações fisiológicas e comportamentais das vacas, que ocorrem durante a fase de transição, podem

umentar o risco de claudicação, mais tarde, durante a lactação (Knott *et al.*, 2007; Cook e Nordlund, 2009; Proudfoot *et al.*, 2010). Muitos casos graves de claudicação são causados por problemas no tecido córneo da unha, que levam de oito a doze semanas para se desenvolver, como, por exemplo, as úlceras de sola e lesões na linha branca. Portanto, é provável que uma úlcera de sola, diagnosticada 12 semanas após o parto, tenha começado a se desenvolver ou tenha sido provocada durante o período de transição. A alta incidência de claudicação após o parto ilustra a necessidade de dar atenção ao período de transição, a fim de prevenir doenças infecciosas e metabólicas logo após o parto e também casos de claudicação alguns meses mais tarde. A identificação precoce dessas situações de risco possibilitará correções no manejo em tempo hábil, evitando assim grandes prejuízos econômicos.

Proudfoot *et al.* (2010) avaliaram o comportamento e a atividade de vacas durante o período de transição (duas semanas anteriores e as três semanas posteriores ao parto) e correlacionaram os dados com lesões podais. Dispositivos para registro de atividade foram fixados aos membros posteriores das vacas para aferir o tempo de permanência em estação. As vacas foram então classificadas mensalmente, quanto à saúde dos cascos, até as 15 semanas de lactação. Treze vacas desenvolveram úlceras de sola ou hemorragias graves de sola entre sete e quinze semanas após o parto. O tempo de permanência em estação dessas vacas durante a fase de transição foi comparado com o de 13 vacas sadias. As vacas que apresentaram claudicação após o parto ficaram em pé por mais tempo no período pré-parto (839 vs. 711min/d) e no período pós-parto precoce (935 vs. 693min/d) do que as vacas sadias. Outra importante diferença na atividade dos animais doentes foi o maior tempo passado com apoio incompleto

na baía (241 vs. 147min/d), isto é, com os dois cascos anteriores na baía e os dois posteriores no corredor. Com relação ao comportamento ingestivo, as vacas com lesões de casco apresentaram uma taxa de consumo maior do que das vacas sadias durante as duas semanas pré-parto (86 vs. 77g MS/min) e durante as 24 horas pós-parto (17,9 vs. 12,3g MS/dia). Apesar de os dados desse trabalho não serem conclusivos quanto à relação da maior taxa de consumo com o aumento da incidência de acidose e das lesões de casco, alguns pesquisadores já demonstraram que vacas com uma alta ingestão após o parto podem apresentar uma diminuição exacerbada do pH ruminal e predispor quadros de laminite (Fairfield *et al.*, 2007). Os resultados indicam que a combinação do comportamento ingestivo associado ao registro de atividade (deitada ou em pé na instalação) das vacas no período de transição pode ser utilizada como ferramenta de detecção de animais com lesão de casco no terço médio da lactação.

Registro de ruminação e consumo

Ruminação é um processo cíclico caracterizado por regurgitação do alimento armazenado no rúmen e mastigação e ingestão do material regurgitado. Sua principal função é facilitar a fermentação dos alimentos, reduzir o tamanho da partícula, promover o esvaziamento do rúmen e, conseqüentemente, aumentar o consumo e melhorar o ambiente ruminal a partir da salivação. Pode ser afetada pelas características da dieta e pelo manejo, em particular pela digestibilidade dos alimentos, teor de FDN, qualidade da forragem, proporção de volumoso e concentrado, tamanho das partículas (Welch e Smith, 1970). O tempo de ruminação (TR) pode ser reduzido em casos de estresse agudo, ansiedade e doen-

ças (Herskin *et al.*, 2004; Bristow e Holmes, 2007; Hansen *et al.*, 2003).

Soriani *et al.* (2012) monitoraram o tempo de ruminação (TR) de vacas durante o período de transição e correlacionaram essas informações com a produção de leite, metabólitos sanguíneos e o estado de saúde dos animais. Os parâmetros de ruminação próximos ao parto, em particular os valores durante os últimos dias de gestação e os primeiros 10 dias de lactação, estão relacionados com a incidência de patologias clínicas durante o primeiro mês de lactação. Animais que apresentaram baixo TR durante o pré-parto (420min./dia) mantiveram baixo TR após o parto, e nesse grupo foi observada uma maior incidência de patologias clínicas. No grupo de vacas com baixo TR, foram diagnosticados 03 animais com mastite, 01 com retenção de placenta, 02 com metrite, 01 com cetose, 01 com deslocamento de abomaso e 02 com claudicação. Por outro lado, uma menor incidência de doenças clínicas foi observada para vacas que apresentaram TR médio (491min./dia) (01 com retenção de placenta e 01 com metrite) e para as vacas que apresentaram TR longo (556min./dia) (01 com mastite). Os resultados apontaram também que as vacas com menor TR antes do parto apresentaram maior concentração plasmática de β -hidroxibutirato após o parto, estando este diretamente relacionado com o grau de mobilização corporal no período de transição.

DeVries *et al.* (2009) induziram acidose subaguda em vacas leiteiras e observaram uma redução no tempo de ruminação durante todo o período experimental para os animais que receberam a dieta com maior proporção de concentrado (491 vs. 555min./d) em comparação aos animais que receberam uma dieta menos desafiadora. Comparado com o grupo controle (que receberam a dieta “segura”), no primeiro dia após o “desafio”, os animais

que receberam a dieta com mais concentrado apresentaram aumento no tempo de consumo (395 versus 310min./d), ao passo que o tempo em descanso/deitado reduziu (565 versus 634min./d). Para esse mesmo grupo de animais, o tempo de ruminação diminuiu no primeiro dia após o desafio (436min./d) em relação ao grupo controle (533min./d); porém, esse tempo aumentou no dia seguinte (572min./d).

Monitoramento do comportamento animal para aumento da eficiência

O comportamento da vaca em 24 horas é um reflexo da sua resposta ao ambiente em que está sendo manejada. A ocorrência de desvios no comportamento do animal em relação à sua rotina normal pode servir de base para avaliar seu *status* de saúde, de bem-estar e produtivo, auxiliando a adequação de estratégias de manejo para otimizar a eficiência do sistema. A Tabela 4 apresenta um modelo simplificado do padrão de comportamento de vacas em lactação (Grant e Albright, 2000). Já Matzke (2003) comparou o comportamento das vacas com maior produção de leite, ranqueadas como “top 10%”, em relação ao comportamento do resto do rebanho (Tab. 5).

Como pode ser visto na tabela acima, vacas mais produtivas precisam de um maior período de descanso, mas essa necessidade não pode comprometer o tempo de ingestão de alimentos e de ruminação. Na Tabela 6, pode-se observar a potencial associação entre o aumento do tempo de descanso (deitada) e a maior produção de leite (Grant, 2003). Dos supostos benefícios promovidos pelo aumento do tempo de descanso (deitada), o aumento do consumo de alimentos é responsável por 35% da reposta

Tabela 4 – Comportamento diário de vacas leiteiras estabuladas. Tempo despendido em cada atividade (horas/dia)

Atividade	Tempo despendido por atividade por dia
Comendo	03 a 05 horas
Deitada / Descansando	12 a 14 horas
Interação social	02 a 03 horas
Ruminando	07 a 10 horas
Bebendo água	30 minutos
Fora das instalações (Ordenha/deslocamento)	2,5 a 3,5 horas

Fonte: Adaptado de Grant e Albright (2000).

Tabela 5 – Comportamento diário das vacas mais produtivas (TOP 10% de maior produção de leite) em comparação às demais vacas do rebanho (MÉDIA). Tempo despendido em cada atividade (horas/dia)

Atividade	TOP 10%	MÉDIA
Comendo	5,5 horas	5,5 horas
Deitada / Descansando	14,1 horas ^a	11,8 horas ^b
Em pé nos corredores	1,1 horas ^b	2,2 horas ^a
Bebendo água	18 minutos	24 minutos

Letras diferentes na mesma linha se diferem estatisticamente (P<0,05).

Fonte: Adaptado de Matzke (2003).

Tabela 6 – Resposta em produção de leite ao aumento do tempo de descanso. Produção de leite em condição ideal de descanso (14 horas/dia) em comparação a animais que permanecem deitados apenas 7 horas por dia

Suposto benefício	Estimativa de reposta (aumento de produção de leite)
Aumento do fluxo de sangue	0,7 a 1,0kg/dia
Aumento da ruminação	Mais de 0,9kg/dia
Menor estresse nos cascos e laminite	1,4kg/dia
Menor estresse por fadiga	0,9kg/dia
Maior consumo de alimento	2,2kg/dia

1 hora a mais deitado/descansando está associada a 1kg/dia a mais de produção de leite

Fonte: Adaptado de Grant (2003).

em produção de leite. Possivelmente, todas as melhorias observadas na rotina da vaca (maior tempo de rinação e menor desgaste do casco), fruto de um maior tempo de descanso, promoveram também um maior tempo de consumo e, conseqüentemente, mais nutriente para a produção de leite.

Os parâmetros comportamentais apresentados acima são baseados em sistemas norte-americanos. É necessário estabelecer para os diferentes sistemas de produção nacionais o comportamento-padrão, necessário para que as vacas leiteiras apresentem máxima eficiência produtiva e permaneçam saudáveis durante toda a lactação. A partir da determinação desses índices, será possível monitorar desvios, permitindo a detecção precoce de estresse e doenças, bem como estabelecer melhores estratégias de manejo para esses sistemas.

A incorporação de tecnologias na pecuária leiteira tem sido motivada pela intensificação dos sistemas de produção, crescimento do número de animais nos rebanhos, escassez de mão de obra e aumento dos custos de produção. Essa tendência em direção à pecuária de precisão parece irreversível e representa quebra de paradigmas, já que os dados médios do rebanho são substituídos por dados individuais de todos os animais do sistema na tomada de decisão. Ou seja, a tecnologia permite o monitoramento individual para que cada animal expresse seu potencial genético, de acordo com as metas econômicas e índices de bem-estar. Com a adequada interpretação fisiológica dos dados registrados de forma automática, esperam-se grandes benefícios para a saúde dos animais e para a rentabilidade das fazendas leiteiras, por meio da definição de melhores estratégias de manejo e seleção de animais mais eficientes.

Considerações Finais

Diversos parâmetros comportamentais podem ser utilizados para detecção precoce de vacas leiteiras doentes. Para tal, é necessário que os animais sejam avaliados individualmente e de forma constante, o que torna possível detectar desvios no comportamento de animais “problemas”;

A utilização de apenas um parâmetro pode permitir a detecção de animais “problema”; porém, será ineficiente no diagnóstico das patologias apresentadas pelos animais. O ideal é realizar uma integração dos sensores eletrônicos e dos parâmetros avaliados.

O avanço tecnológico em diversas áreas tem permitido que novos sensores e equipamentos cheguem à pecuária com custos cada vez mais acessíveis. Entretanto, para que tais tecnologias possam auxiliar a rápida tomada de decisões pelos produtores, os dados registrados precisam ser devidamente interpretados por *software* e modelos matemáticos.

Bibliografia consultada

1. Azizi O (2008) Relationships between feeding behavior and feed intake in dairy cows during early lactation. PhD Thesis, Humboldt-University Berlin, Germany.
2. Borderas, F.T. Illness and milk feeding level's effects on calf behavior. 2009. 164p. Tese (Doutorado) University of Bristh Columbia, Vancouver, Canadá.
3. Bristow, D. J., and D. S. Holmes. 2007. Cortisol levels and anxiety related behaviors in cattle. *Physiol. Behav.* 90:626-628.
4. Cook, N. B., and K. V. Nordlund. 2009. Behavioral needs of the transition cow and considerations for special needs facility design. *Vet. Clin. North Am. Food Anim. Pract.* 20:495 -520.
5. DeVries, T. J., M. A. G. von Keyserlink, , and K. A. Beauchemin. 2005. Frequency of feed delivery affects the behavior of lactating dairy cows. *J. Dairy Sci.* 88:3553-3562.
6. DeVries, TJ; Beauchemin, KA; Dohme, F; Schwartzkopf-Genswein, KS; Repeated ruminal acidosis challenges in lactating dairy cows at high and low risk for developing acidosis: feeding, ruminating, and lying behavior. *J Dairy Sci*, 5067-5078, 2009.

7. Dollinger, J.; Kaufmann, O. 2012. Feeding behaviour in dairy cows with and without the influence of clinical diseases or subclinical disorders. *Archives Animal Breeding*.
8. Elsasser, T.H., S. Kahl, C. Macleod, B. Mechanisms underlying growth hormone effects in augmenting nitric oxide production and protein tyrosine nitration during endotoxin challenge. *J. Endocrinol.*, v.145, p.3413-3423, 2004.
9. Fairfield A. M., Plaizier J. C., Duffield T. F., Lindinger M. I., Bagg R., Dick P., McBride B. W. 2007. Effects of prepartum administration of a monensin controlled release capsule on rumen pH, feed intake, and milk production of transition dairy cows. *J. Dairy Sci.* 90:937-945.
10. Fleischer, P. M. Metzner, M. Beyerbach, M. Hoedemaker, and W. Klee. 2001. The relationship Between milk yield and the incidence of some diseases in dairy cows. *J. Dairy Sci.* 84:2025-2035.
11. Gonzales et al., 2008; Gonzalez LA, Tolkamp BJ, Coffey M P, Ferret A, Kyriazakis I (2008) Changes in feeding behaviour as possible indicators for the automatic monitoring of health disorders in dairy cows. *J Dairy Sci* 91, 1017-1028
12. Grant R J, Albright J L (2000) Feeding behaviour. In: D'Mello, J P F (ed) *Farm Animal Metabolism and Nutrition*. CABI Publishing, Wallingford, Oxon, UK, 365-382
13. Grant, R. J. 2003. Taking advantage of dairy cow behavior: cost of ignoring time budgets. In *Proc. 2003 Cornell Nutr. Conf. For Feed Manufac.* October 21-23. Cornell University. Wyndham Syracuse Hotel. Syracuse, NY.
14. Grummer, R. R., D. G. Mashek, and A. Hayirli. 2004. Dry matter intake and energy balance in the transition period. *Vet. Clin N Am. Food Anim.* 20:447-470.
15. Hammon, D. S., I. M. Evjen, T. R. Dhiman, J. P. Goff, and J. L. Walters. 2006. Neutrophil function and energy status in Holstein cows with uterine health disorders. *Vet. Immunol. Immunopathol.* 113:21-29.
16. Hamrita, T. K., Hamrita, S. K., Van Wicklen, G., et al. Use of biotelemetry in measurement of animal responses to environmental stressors. *ASAE Paper 97-4008*. ASAE, St. Joseph, MI, 1997.
17. Hansen, S. S., P. Norgaard, C. Pedersen, R. J. Jorgensen, L. S. B. Mellau, and J. D. Enemark. 2003. The effect of subclinical hypocalcaemia induced by Na2EDTA on the feed intake and chewing activity of dairy cows. *Vet. Res. Commun.* 27:193-205.
18. Herskin, M. S., L. Munksgaard, and J. Ladewig. 2004. Effects of acute stressors on nociception, adrenocortical responses and behavior of dairy cows. *Physiol. Behav.* 83:411-420.
19. Huzzey, J.A., D.M. Veira, D.M. Weary, and M.A.G. von Keyserlingk. 2007. Behavior and intake measures can identify cows at risk for metritis. *J. Dairy Sci.* 90:3320-3233.
20. Knott, L., J. F. Tartlon, H. Craft, and A. J. F. Webster. 2007. Effects of housing, parturition and diet change on the biochemistry and biomechanics of the support structures of the hoof of dairy heifers. *Vet. J.* 174:227-287.
21. Matzke, W. C. 2003. Behavior of large groups of lactating dairy cattle housed in a free stall barn. M.S. Thesis. Univ. of Nebraska, Lincoln.
22. Oliveira Junior, B.R. Validação de equipamentos eletrônicos de rádio frequência para alimentação de bovinos e efeito da tristeza parasitária sobre o consumo de alimentos. 2015. 96p Dissertação (Mestrado) Universidade Federal de Minas Gerais, Belo Horizonte/MG, Brasil.
23. Owens F N, Secrist D S, Hill W J, Gill D R (1998) Acidosis in cattle, A review. *J Anim Sci* 76,275-286
24. Proudfoot K L, Weary D M, von Keyserlingk M A G (2010) Behavior during transition differs for cows diagnosed with claw horn lesions in mid lactation. *J Dairy Sci* 93, 3970-3978
25. Reist, M., D. K. Erdin, D. von Euw, K. M. Tschumperlin, H. Leuenberger, H. M. Hammon, N. Kunzi, and J. W. Blum. 2003. Use of threshold serum and milk ketone concentrations to identify risk for ketosis and endometritis in high-yielding dairy cows. *AJVR* 64:188-194.
26. Soriani, N; Trevisi, E.; Calamari, L.; Dairy cows during the transition period Relationships between rumination time, metabolic conditions and health status. *J Anim Sci*, 2012
27. Urton, G., M. A. G. von Keyserlingk, and D. M. Weary. 2005. Feeding behavior identifies dairy cows at risk for metritis. *J. Dairy sci.* 88:2843-2849.
28. Vargas, M.W. Efeito da metrite sobre o consumo e comportamento de ingestão de alimento e água de vacas da raça holandês. 2015. 71p Dissertação (Mestrado). Universidade José do Rosário Vellano – UNIFENAS, Oliveira/MG, Brasil.
29. Welch, J. G., and A. M. Smith. 1970. Forage quality and rumination time in cattle. *J. Dairy Sci.* 53:797-800.



Uso de tecnologias de precisão na reprodução de bovinos leiteiros

bigstockphoto.com

Bruno Campos de Carvalho¹, Maria de Fátima Ávila Pires², Wagner Arbex³, Gustavo Bervian dos Santos⁴

¹Médico Veterinário CRMV-MG 7392 – Pesquisador – Embrapa Gado de Leite – Juiz de Fora – MG bruno.carvalho@embrapa.br

²Médica Veterinária CRMV-MG 1023 – Pesquisadora – Embrapa Gado de Leite – Juiz de Fora – MG

³Matemático – Analista – Embrapa Gado de Leite – Juiz de Fora – MG

⁴Médico Veterinário CRMV-MG 14929 – Doutorando – Universidade Federal Fluminense – Niterói - RJ

Introdução

A eficiência reprodutiva impacta economicamente a produção de leite, por alterar a proporção de vacas em lactação no rebanho e alterar o número médio de dias em lactação do rebanho. O impacto é a redução na produção diária de leite e aumento dos custos associados com o manejo reprodutivo, como assistência técnica e uso de medicamentos e hormônios. Diante dessa importância, o manejo reprodutivo deve ser realizado de forma criteriosa, com a realização de exames ginecológicos. A partir dos da-

Para o manejo reprodutivo, a menor disponibilidade de mão de obra gera consequências graves, como um tempo reduzido para observação de cio dos animais ou a observação de cio em grandes lotes de animais.

dos individuais, tratamentos ou recomendações de manejo podem ser geradas de forma a atender as necessidades de cada animal. Esse tratamento individualizado permite a aplicação do conceito de pecuária de precisão.

Entretanto, os sistemas de produção de leite têm passado por processo de especialização, caracterizado pelo aumento do tamanho dos rebanhos, da produtividade e, marcadamente, pela redução da relação homem:vaca. O desenvolvimento desses sistemas deu-se, em parte, pela redução da disponibilidade de mão de obra rural e ao aumento de seu custo (Rutten *et al.*, 2013). Para o manejo reprodu-

tivo, a menor disponibilidade de mão de obra gera consequências graves, como um tempo reduzido para observação de cio dos animais ou a observação de cio em grandes lotes de animais. Ainda, o diagnóstico de afecções reprodutivas, como infecções uterinas, ocorre tardiamente ou quando já existe comprometimento sistêmico do animal, com maiores efeitos sobre a produção de leite e fertilidade futura.

Tecnologias de pecuária de precisão podem ser aplicadas ao manejo reprodutivo de vacas de leite para a superação desses problemas. A geração de dados individualizados das vacas do rebanho, a partir de sensores, é prática que vem sendo desenvolvida desde a década de 1980 em sistemas de produção nos Estados Unidos e em outros países da Europa, como o uso de pedômetros para a detecção de cio, por exemplo (Rutten *et al.*, 2013). A presente revisão tem por objetivo fazer uma análise dos principais problemas do manejo reprodutivo de vacas leiteiras e como a adoção de tecnologias de precisão pode permitir o aumento da eficiência reprodutiva.

Manejo reprodutivo em vacas leiteiras

De forma geral, o manejo reprodutivo pode ser dividido de acordo com as fases do ciclo reprodutivo, em puerpério, período de inseminação/cobrição, gestação e parto. Durante a gestação, podem ser realizados diagnósticos de gestação confirmatórios, especialmente em propriedades com histórico de taxas de aborto elevadas. É uma fase de preparação da vaca para o próximo parto e lactação, em que a nutrição deve proporcionar uma recuperação das reservas corporais, de forma a garantir um adequado escore da condição corporal à secagem e durante o período de transição. Durante

a fase de parto, o manejo reprodutivo objetiva garantir um parto normal, sem ocorrência de distocia e que termine com a liberação da placenta, nas primeiras 12 horas pós-parto.

Durante o puerpério, geralmente os veterinários adotam a realização de exames clínicos e/ou ginecológicos para o acompanhamento da involução uterina e ocorrência de infecções uterinas. Para tanto, métodos como a palpação transretal e a ultrassonografia são utilizados para verificar a posição, o tamanho e presença de conteúdo no útero. A vaginoscopia também pode ser utilizada para verificar a presença de secreção no fundo de saco vaginal e óstio cervical externo. Nesse período, o objetivo do manejo reprodutivo é o diagnóstico de infecções que atrasem a involução uterina e, por consequência, a liberação dos animais para a inseminação.

Após o período voluntário de espera, geralmente considerado de 45 dias, inicia-se a fase de inseminação das vacas. É o período em que se espera que as vacas retornem ao cio no pós-parto e sejam apropriadamente inseminadas. Nesse período, o objetivo do manejo reprodutivo é a identificação dos animais com atraso no retorno ao cio no pós-parto, bem como uma avaliação da eficiência reprodutiva da propriedade, com base na eficiência na detecção de cio e da taxa de concepção após a inseminação. Regularmente, devem ser realizados exames ginecológicos naqueles animais com mais de 45 dias pós-parto e que ainda não manifestaram cio. Nesse momento, também devem ser realizados exames ginecológicos para diagnóstico de gestação dos animais inseminados há mais de 30 dias (exame ultrassonográfico) ou 45 dias (palpação transretal).

Essa é a fase em que é gerada maior

quantidade de informações, as quais são referentes não somente ao exame ginecológico da vaca, mas também ao inseminador e aos funcionários envolvidos na observação de cio dos animais. De posse das informações individuais, o médico veterinário recomenda tratamentos ou manejos “personalizados”. Ou seja, a decisão do procedimento a ser adotado com a vaca dependerá de suas informações produtivas, como dias em lactação, produção de leite, histórico de inseminações, bem como dos achados do exame ginecológico. Tratamentos individuais podem ser adotados para a resolução dos problemas encontrados, como protocolos hormonais para o tratamento de cistos foliculares ou para a indução e sincronização do cio e da ovulação, para inseminação após observação do cio ou mesmo para a IATF (Ferreira, 2010; Carvalho *et al.*, 2010).

De forma geral, dois problemas causam maior impacto na eficiência reprodutiva em vacas leiteiras, o atraso no retorno ao cio no pós-parto e a baixa eficiência na detecção de cio (Walsh *et al.*, 2011). O primeiro é intrínseco ao animal, decorre de falhas no manejo nutricional e está relacionado ao escore da condição corporal. Por outro lado, a detecção de cio é um problema que decorre não só da baixa intensidade de manifestação dos sinais de cio (Dobson *et al.*, 2007), mas também da disponibilidade de mão de obra para realizar esse serviço (Rutten *et al.*, 2013).

Sinais de cio e sua identificação em vacas leiteiras

O comportamento sexual dos bovinos é caracterizado por um período de receptividade sexual em que a fêmea aceita a monta, seja esta realizada por um macho ou por outras

fêmeas. Esse período é denominado de estro ou cio, tem duração média de 12 horas e se repete a intervalos de 21 dias (com variação de 18 a 23 dias). Fisiologicamente, o proestro é caracterizado por um pico nas concentrações plasmáticas de estrógeno que, associado a baixas concentrações de progesterona, estimula o comportamento sexual e induz o pico pré-ovulatório de LH. Apesar de o comportamento de aceitação de monta ser conclusivo para a detecção do cio, outros comportamentos são observados nos dias que precedem e nos que sucedem o cio. Esses comportamentos são: inquietação, com aumento da atividade física, tentativa de monta em outras vacas, apoiar a cabeça/queixo na garupa de outras vacas, edema da vulva, presença de muco cervicovaginal, tentativa de cheirar e lambe a vulva de outras vacas, reflexo de *Flehmen* e aumento de comportamentos agonísticos entre vacas, como interações cabeça com cabeça. Esses comportamentos sexuais secundários começam a ser manifestados no período de pró-estro, de um a dois dias antes do cio, atingem uma frequência máxima durante o estro e tem sua manifestação reduzida no metaestro (Carvalho *et al.*, 2010; Ferreira, 2010).

A recomendação para observação e detecção visual de cio é de pelo menos 30 minutos, duas vezes ao dia, no início da manhã e ao final da tarde. Para racionalizar o uso da mão de obra na inseminação artificial, pode ser adotado o esquema proposto por Trimberger (1948). Vacas observadas em cio pela manhã são inseminadas no final da tarde e vacas observadas em cio no final da tarde são inseminadas na manhã do dia seguinte, ou seja, 12 horas após a detecção do cio.

Entretanto, em vacas de leite, especialmente as de alta produção, tem-se observado uma redução na manifestação dos sinais de cio. De acordo com Dobson *et al.* (2007), nos últimos 50 anos houve uma redução de 80%

para 50% na manifestação de cio em vacas de leite, associada a uma redução na sua duração de 15 para apenas 5 horas. Fatores como o tipo de piso onde as vacas estão alojadas, a temperatura ambiente, a ordem de parto, a produção de leite e a ocorrência de problemas de casco afetam a manifestação dos comportamentos de cio e a sua duração (Diskin e Sreenan, 2000; Dobson *et al.*, 2007; Walsh *et al.*, 2011).

Com relação à produção de leite, vacas de alta produção (maior que 39 litros/dia) apresentam cios mais curtos do que aquelas de menor produção (6,2h *versus* 10,9h). Também, a duração dos episódios de monta é menor (21,7 *versus* 28,2s) (Lopez *et al.*, 2004). Uma das explicações para a menor duração e intensidade da manifestação do estro são as menores concentrações plasmáticas de estrógeno, decorrentes de um maior “clearance” hepático de esteroides em vacas de leite de alta produção (Wiltbank *et al.*, 2006). Dessa forma, a manifestação menos evidente e a menor duração têm dificultado a detecção do cio em vacas de leite.

Por outro lado, o comportamento de cio de vacas de raças zebuínas é diferente do daquelas de raças taurinas. Em um trabalho que comparou a duração do estro da raça Nelore (zebuína) com a da raça Angus (taurina), a duração do cio foi menor em vacas Nelore ($12,9 \pm 2,9$ h) do que nas vacas Angus ($16,3 \pm 4,8$ h) (Mizuta *et al.*, 2003). O pico de LH que coincide com o início do cio e a ovulação ocorre de 26 a 28 horas após o início do cio (Pinheiro *et al.*, 1998). Uma menor duração do cio e uma maior frequência de cios ocorrendo durante o período da noite reduzem, em animais ze-

buínos, a eficiência da detecção do cio. Essa maior dificuldade na detecção do cio é uma das justificativas para o crescente uso de protocolos hormonais para a inseminação artificial em tempo fixo, observado nos últimos anos no Brasil (Sartori e Barros, 2011).

Ferramentas que auxiliam a detecção de cio têm sido adotadas, em maior ou menor grau, em rebanhos leiteiros. O uso de ruínas, com ou sem buçais marcadores, o uso de bastões de cera para marcação da garupa das vacas e o uso de dispositivos para serem aderidos na garupa de vacas e que mudam de cor após sofrer a pressão da monta (Kamar, Bovine Beacon, Master Mate) podem ser citados como alternativas para melhorar a detecção do cio (Diskin e Sreenan, 2000).

Detecção eletrônica do cio

Devido à crescente dificuldade na observação de cio em vacas de leite, há mais de 40 anos vêm sendo desenvolvidos equipamentos que dispensem a observação visual e automatizem a detecção do cio. A primeira patente de um equipamento com essa finalidade foi concedida em 1974 (Polson, 1974) e descreve um aparato eletrônico para a detecção e registro do comportamento de cio. É baseado em um sensor de pressão a ser fixado na ga-

rupa da vaca para transmitir um sinal de rádio quando a vaca receber a monta por outros animais. Atualmente, existem duas classes de dispositivos para detecção eletrônica de cio disponíveis comercialmente em diferentes países, uma com base em sensores de pressão capazes de registrar a monta sofrida pela vaca para transmitir um sinal de rádio quando a vaca receber a monta por outros animais. Atualmente, existem duas classes de dispositivos para detecção eletrônica de cio disponíveis comercialmente em diferentes países, uma com base em sensores de pressão capazes de registrar a monta sofrida pela vaca em cio, e

Atualmente, há duas classes de dispositivos para detecção eletrônica de cio, disponíveis comercialmente em diferentes países, uma com base em sensores de pressão capazes de registrar a monta sofrida pela vaca em cio, e outra com base em sensores que avaliam a atividade dos animais.

outra com base em sensores que avaliam a atividade dos animais.

De acordo com Senger (1994), um sistema de detecção de cio deve ter como princípio uma elevada acurácia na detecção, com reduzido uso de mão de obra e com uma indicação apropriada do momento ótimo para realização da inseminação artificial. Dessa forma, um sistema automático de detecção de cio deve garantir um monitoramento contínuo e confiável de mudanças fisiológicas ou comportamentais que ocorrem durante o estro. Esse sistema também deve promover a identificação automática do animal e ser capaz de armazenar informações e apresentar custo-benefício favorável. Ainda, o fator mais importante é que a característica avaliada seja altamente correlacionada com o momento de ovulação, o que garantirá uma elevada taxa de concepção após a inseminação artificial.

O sistema HeatWatch® (Heat Watch II, CowChips, EUA, <http://www.cowchips.net/>), disponível comercialmente nos Estados Unidos e Europa, utiliza sensores de pressão para detectar uma monta sofrida por uma vaca em cio. Consiste em um mini transmissor de rádio, alojado dentro de uma estrutura plástica, que é ativado pelo peso exercido pela monta de outra vaca, em uma monta que dure pelo menos dois segundos. Cada ativação do sensor gera uma transmissão por ondas de rádio até uma antena de recepção e daí para um computador. O alcance da transmissão é de até 400 metros. Os dados recebidos de cada transmissão, como identificação da vaca, data

O sistema HeatWatch® ... utiliza sensores de pressão para detectar uma monta sofrida por uma vaca em cio.

A relação entre o aumento da atividade física e a manifestação do cio é conhecida há bastante tempo. A detecção de cio com base em pedômetros é mediada por tags eletrônicas que identificam o animal e registram o número de passos.

da monta, tempo e duração da ativação do sensor, são analisados e, por meio de um algoritmo, é estabelecido o perfil de monta do animal e a ocorrência ou não do cio.

A eficiência desse sistema é superior a 85%, com uma elevada acurácia, uma vez que utiliza o comportamento característico do cio, que tem alta correlação com o momento da ovulação. Entretanto, esse sistema tem como desvantagens o baixo alcance de transmissão, que limita seu uso em vacas a pasto, e a detecção apenas de montas que durem mais de dois segundos (Chaint-Dizier e Chaistant-Mailard, 2012; Stevenson, 2014).

A relação entre o aumento da atividade física e a manifestação do cio é conhecida há bastante tempo (Farris, 1954). Em 1977, foram utilizados pedômetros desenvolvidos para uso humano para registrar a variação na atividade física durante o cio de vacas da raça Holandesa. Observou-se um aumento de 393% na atividade física dos animais durante o cio (Kiddy, 1977). Esses trabalhos foram a base para o desenvolvimento de equipamentos próprios para o monitoramento da atividade física e detecção do cio em bovinos.

De acordo com Galon (2010), um sistema eletrônico de detecção de cio com base em pedômetros é composto por tags eletrônicas que identificam o animal e registram o número de passos; uma antena faz a leitura dos dados acumulados no pedômetro; um computador com *software* específico para a interpretação dos dados; e uma interface de comunicação entre a antena de leitura e o

software. Após receber um sinal de rádio com uma requisição de identificação enviada pelo computador, o pedômetro envia um sinal para ativação da antena e transmite os dados de identificação do animal e da sua atividade desde o último período de leitura. A interface de comunicação faz a translação dos dados analógicos para uma sequência digital que é enviada para o *software*. O *software* processa os dados e identifica automaticamente o aumento da atividade física do animal, característica de cio, e indica um intervalo de tempo em que a inseminação artificial deve ser realizada.

Inicialmente, os pedômetros eram construídos a partir de sensores de mercúrio, em que a movimentação dos animais provocava o deslocamento de uma gota de mercúrio em suspensão, o que fechava um contato elétrico que era registrado. No passado, esses pedômetros eram interligados a radiotransmissores de baixo alcance. A desvantagem desses sistemas era a reduzida vida útil das baterias utilizadas nos transmissores e o baixo alcance de transmissão. Recentemente, novos sensores vêm sendo utilizados para o monitoramento da atividade física de vacas leiteiras para predição da ocorrência de cios. Acelerômetros vêm sendo utilizados como sensores de atividade em colares colocados no pescoço das vacas. Ainda, alguns pedômetros podem controlar a posição do animal (eixo x-y-z) e registram o tempo que o animal permanece deitado, por exemplo. Esses novos aparelhos possuem maior capacidade de armazenamento e a transmissão dos dados ocorre via *bluetooth*, após a passagem dos animais por cortinas de leitura (Roelofs *et al.*, 2010; Stevenson, 2014; Aungier *et al.*, 2015). Isso gera um baixo consumo de energia, com maior vida útil da bateria. Além disso, a capacidade de armazenamento de dados permite a transmissão de dados no momento da ordenha, quando as vacas passam por cortinas de leitura que ativam

a transmissão dos dados. Aproximadamente 18 tipos de dispositivos de dez diferentes empresas que desenvolvem o monitoramento da atividade de vacas com a finalidade de identificá-las em cio estão disponíveis no mercado mundial. DeLaval, IceRobotics, Fujitsu, SAC, SCR, Afimilk, Select Sires, CRV e Semex são algumas das empresas que comercializam esses equipamentos em diferentes países pelo mundo.

A sensibilidade desses sistemas de detecção de cio foi revisada por Roelofs e van Erp-van der Kooij (2015). A sensibilidade variou de 36 a 78%, que foi maior que a verificada para a observação visual do cio, que variou de 20 a 59%. O valor preditivo positivo desses sistemas variaram de 74 a 97%, o que não foi melhor nem pior do que a observação visual. Esses dados mostram confiabilidade no uso de dispositivos eletrônicos para o monitoramento do cio em vacas de leite.

A base para os elevados valores de sensibilidade e valor preditivo positivo está no uso da computação científica para desenvolvimento de *software*. Atualmente, algoritmos têm sido desenvolvidos usando ferramentas de computação científica, como aprendizado de máquina. Esses algoritmos consideram, entre outros, a média da atividade física do animal nos dias que precedem o cio, o intervalo do último cio e/ou inseminação, entre outros. Um fator que também é considerado no desenvolvimento dos algoritmos é o ritmo circadiano da atividade física (Lovendal e Chagunda, 2010).

Uma vez que cada sistema eletrônico de detecção de cio é baseado no uso de algoritmos específicos, cada sistema tem determinado um momento ótimo para a realização da inseminação artificial, conforme revisado por Roelofs e van Erp-van der Kooij (2015). A característica mais importante, porém, é que a atividade física apresenta alta correlação com

o pico pré-ovulatório de estradiol. Lyimo *et al.* (2000) verificaram que a máxima atividade física ocorreu cerca de oito horas após o pico de estradiol e, por consequência, da ovulação. Dessa forma, o desenvolvimento desses equipamentos eletrônicos leva em consideração o momento da ovulação, para prever o momento ideal para realização da inseminação artificial.

Outros dispositivos e aplicações têm sido desenvolvidos para o monitoramento do cio em vacas leiteiras, além dos sensores de atividade e monta. O monitoramento automático das concentrações de progesterona no leite vem sendo utilizado desde 2009, na Dinamarca, em sistemas de ordenha voluntária (robótica). O *software* desenvolvido (Herd Navigation®, DeLaval Corporation) permite ajustar o número de testes por ciclo estral e identificar a potencial situação reprodutiva da vaca, como anestro pós-parto, em ciclicidade e potencialmente gestante. Além disso, o *software* gera um alerta para a ocorrência de cio quando a concentração de progesterona no leite encontra-se abaixo de 4ng/mL, o que permite uma taxa de detecção de cio de até 95%. Os algoritmos desenvolvidos permitem, ainda, calcular a probabilidade de sucesso da inseminação artificial a ser realizada, com base na duração da fase luteal prévia e na cinética de redução da concentração de progesterona (Stevenson, 2014).

O videomonitoramento tem sido utilizado para a identificação de cio, a partir do desenvolvimento de *software* capaz de identificar o movimento das vacas e a posição de imobilidade para ser montada por outras va-

Outros dispositivos e aplicações têm sido desenvolvidos para o monitoramento do cio em vacas leiteiras, além dos sensores de atividade e monta. O monitoramento automático das concentrações de progesterona no leite vem sendo utilizado desde 2009, na Dinamarca, em sistemas de ordenha voluntária (robótica).

cas (Bruyère *et al.*, 2012). Outra aplicação é o desenvolvimento de sensores de proximidade com transmissão e recepção simultâneas de sinal UHF, capazes de quantificar a frequência e duração de interações próximas entre vacas (O'Neill *et al.*, 2014). Sensores de radiofrequência que utilizam banda ultra larga (Ultra Wide Band) têm sido utilizados, em conjunto com antenas de transmissão e recepção, para determinar a

posição de animais tanto no eixo horizontal quanto no vertical, o que tem permitido o desenvolvimento de *software* para a identificação automática de animais em cio (Homer *et al.*, 2013). Ainda, algoritmos foram desenvolvidos para automatizar a identificação de cio com base na temperatura da superfície corporal, obtida a partir de câmeras termográficas (Talukder *et al.*, 2014). Todas essas aplicações têm sido objeto de pesquisa e desenvolvimento e a expectativa é de que em futuro próximo sejam disponibilizados no mercado mundial equipamentos que embarquem essas novas tecnologias.

Uso de dispositivos eletrônicos para o monitoramento de vacas com metrite clínica

Um dos desafios futuros da pecuária de precisão é o desenvolvimento de equipamentos e aplicativos dotados de inteligência computacional. Ou seja, além da geração de dados individualizados a partir de dispositivos eletrônicos, é preciso o uso da computação

científica para que esses dados sejam automaticamente analisados e gerem informações que auxiliem os produtores rurais na tomada de decisão. Para tanto, é preciso um maior conhecimento das alterações e diferenças observadas entre vacas sadias e as afetadas por diferentes condições clínicas.

Nesse sentido, foram avaliadas 18 vacas da raça Holandesa, durante as primeiras 12 semanas de lactação. Desse grupo de animais, nove vacas mantiveram-se sadias, enquanto outras nove apresentaram casos clínicos de metrite, por infecção natural, aos 13 dias pós-parto, em média (Vargas, 2015). Os animais foram monitorados com um sistema de automação com tecnologia nacional (Intergado®, Seva Engenharia Ltda., Brasil), composto por cochos eletrônicos sobre células de carga, que pesavam constantemente os alimentos (Chizzoti *et al.*, 2015). Associado aos cochos e bebedouros, os animais foram identificados com brinco eletrônico TAG (FDX - ISO 11784/11785; Allflex, Brasil). Foram monitorados o consumo de matéria seca (MS), o consumo de matéria seca por visita ao cocho eletrônico, o tempo em ingestão (min.), o número de visitas com ingestão e a taxa de consumo de alimentos (g/min).

Vacas que apresentaram metrite no pós-parto produziram em média 1,42 litros de leite a menos ($P < 0,0001$) do que aquelas saudáveis ($29,79 \pm 0,11$ e $31,21 \pm 0,11$ litros/dia, respectivamente) durante as primeiras 12 semanas de lactação. Associado à menor produção de leite, também foi observado menor consumo de matéria seca (kg/dia) das vacas com metrite nas primeiras semanas pós-parto. Além disso, o comportamento alimentar foi alterado. Vacas com metrite apresentaram menor consumo de matéria seca a cada visita realizada ao cocho eletrônico. O tempo total em ingestão de alimentos, contudo, foi semelhante entre as vacas saudáveis e as com metri-

te, o que refletiu em maior número de visitas ao cocho e em menor taxa de consumo de alimentos (g/min) das vacas com metrite clínica, conforme pode ser visualizado na Figura 1 (Vargas, 2015).

Como forma de demonstrar a aplicabilidade desses resultados, avaliou-se o consumo de uma vaca da raça Holandesa com metrite clínica diagnosticada aos 10 dias de lactação (Fig. 2). Imediatamente após o diagnóstico, iniciou-se o tratamento à base de antibioticoterapia sistêmica. As vacas do rebanho foram acompanhadas semanalmente por um médico veterinário, sendo submetidas a exames ginecológicos puerperais até o fim do período voluntário de espera. Já havia alteração no consumo de matéria seca dois dias antes do diagnóstico clínico da metrite. Ainda, após o tratamento, houve rápida recuperação no padrão de consumo (Fig. 2).

Analisados em conjunto, o consumo de matéria seca e o comportamento alimentar podem ser utilizados para o monitoramento da saúde de vacas no início da lactação. Para tanto, é preciso a aplicação da computação científica para o desenvolvimento e validação de indicadores que associem as diferentes características de consumo e o comportamento alimentar e gerem limites críticos que estejam associados à ocorrência de afecções puerperais. Assim, será possível identificar precocemente o estabelecimento dessas afecções, o que permitirá diagnóstico e tratamento mais precoces que reduzam os efeitos negativos sobre a produtividade dos animais.

Avaliação automatizada do Escore da Condição Corporal (ECC)

O ECC é um dos principais parâmetros utilizados para avaliação do manejo nutricional e reprodutivo de vacas leiteiras. Permite

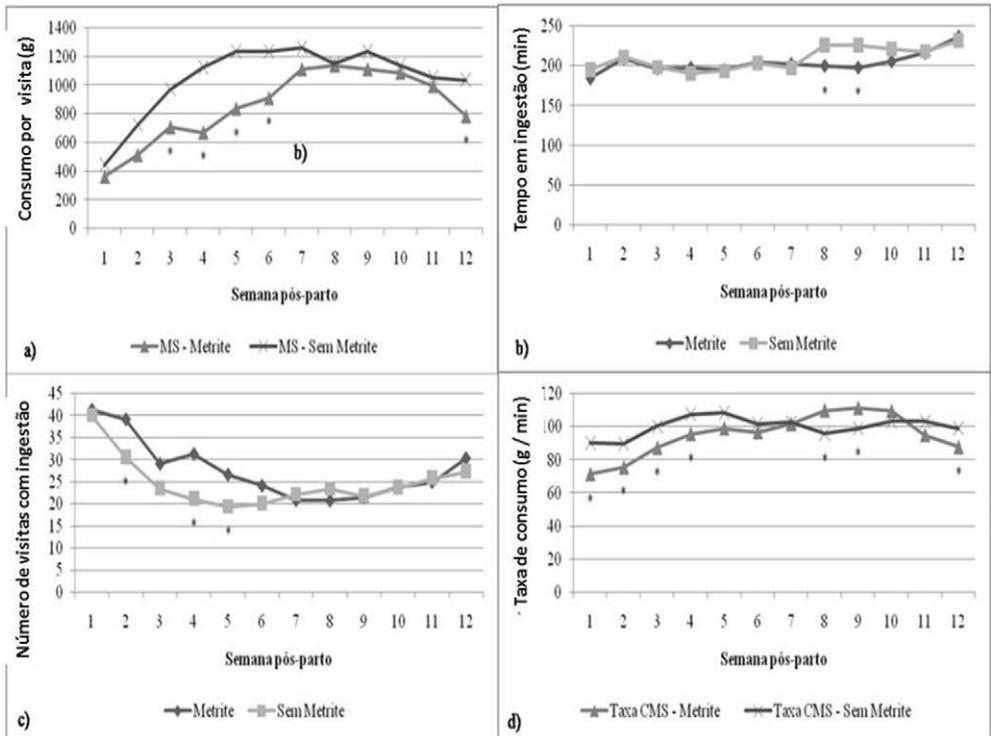


Figura 1: Comportamento ingestivo durante as primeiras 12 semanas de lactação, de vacas da raça Holandesa com ocorrência clínica ou não de metrite. a) Consumo de matéria seca por visita ao cocho eletrônico; b) Tempo em ingestão; c) Número de visitas com ingestão; d) Taxa de consumo de alimentos (g/min). (*Diferenças significativas para a interação metrite x semana - $P < 0,05$, pelo teste de Tukey.) Adaptado de Vargas, 2015.

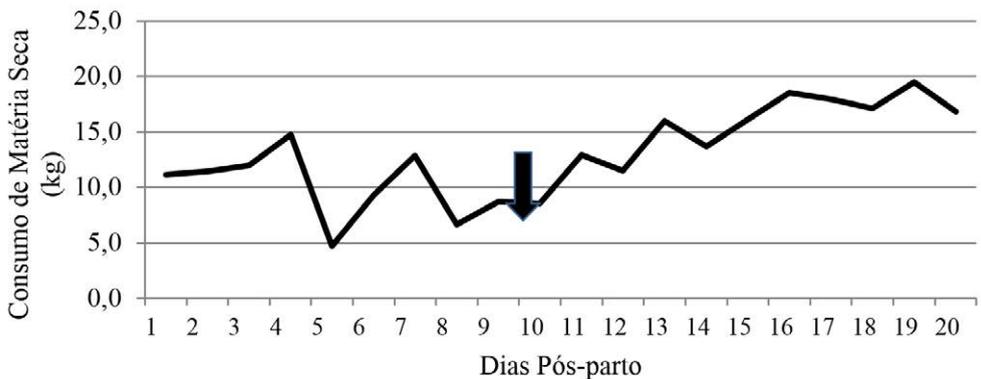


Figura 2: Consumo de matéria seca de uma vaca diagnosticada com metrite aos 10 dias pós-parto (seta), quando foi iniciado tratamento à base de antibioticoterapia (Carvalho *et al.* 2014).

estimar a ocorrência de balanço energético negativo durante o início da lactação, e é altamente correlacionado com o desempenho reprodutivo dos animais (Roche *et al.*, 2009). Apesar dos benefícios da avaliação do ECC, sua utilização ainda é relativamente reduzida, possivelmente em decorrência de sua mensuração subjetiva, o que torna necessário um avaliador treinado para que haja consistência na avaliação (Azzaro *et al.*, 2011).

Imagens digitais têm sido utilizadas para estimar o ECC (Coffey *et al.*, 2003; Bewley *et al.*, 2008; Jeffrey e Schutz, 2009; Azzaro *et al.*, 2011). Coffey *et al.* (2003) propuseram que a gravação automática de imagens com posterior avaliação do ECC aumentaria a sua utilidade pelos técnicos de fazendas leiteiras. Por outro lado, Ferguson *et al.* (2006) recomendaram a utilização de imagens digitais, que poderiam ser avaliadas à distância por técnicos, os quais poderiam intervir no manejo, principalmente nutricional, sem a presença na fazenda. Esses trabalhos demonstraram a confiabilidade e acurácia no uso das imagens digitais em substituição a uma avaliação *in loco*.

Com o objetivo de superar a subjetividade e possibilitar aplicação mais ampla da avaliação de ECC nos sistemas de produção de leite, diversos grupos de pesquisa têm desenvolvido ações para a automação do processo, utilizando recursos de computação gráfica (Azzaro *et al.*, 2011; Bewley *et al.*, 2008; Ozkaya e Bozkurt, 2008; Halachmi *et al.*, 2008). Nesse contexto, atualmente já existem dispositivos eletrônicos para a avaliação automatizada do escore corporal disponíveis no mercado e aplicativos para *smartphones* com essa funcionalidade. A empresa DeLaval Corporate possui um sistema integrado, o qual utiliza, para a determinação do ECC, um sensor de presença do animal que, aliado a sensores infravermelhos, captura imagens

tridimensionais para realizar a estimativa do valor do ECC (DELAVAL BCS[®]).

A Embrapa Gado de Leite está em processo de desenvolvimento de um *software* e de um aplicativo para *smartphones* para a avaliação automatizada do escore da condição corporal. O e-Score processará digitalmente imagens e as avaliará com base em seu conteúdo e permitirá a avaliação do escore corporal de vacas de diferentes raças leiteiras. O e-Score está em fase final de desenvolvimento do seu protótipo e, efetivamente, desde sua concepção e o estabelecimento da prova de conceito até o momento atual, o aplicativo sempre logrou êxito em sua proposta de determinar o ECC de animais a partir de um conjunto de imagens padrões. Para os testes iniciais, foram utilizadas imagens de vacas da raça Holandesa; porém, outras raças serão incorporadas ao aplicativo (Arbex *et al.*, 2015). Com o uso de inteligência computacional, a tecnologia do e-Score permite a avaliação automatizada do ECC, fazendo a captura e a “leitura” das imagens no próprio dispositivo móvel, sem necessidade de acesso à internet ou conexão com a rede de telefonia celular.

Considerações Finais

O maior custo e a menor disponibilidade de mão de obra na atividade leiteira têm levado ao desenvolvimento de novas tecnologias que auxiliam no manejo reprodutivo. O aumento na eficiência de detecção de cio e o diagnóstico precoce de doenças reprodutivas são exemplos de como essas tecnologias podem contribuir para o aumento da eficiência reprodutiva em bovinos leiteiros. A expectativa é que essas tecnologias sejam gradualmente incorporadas aos sistemas de produção e que, em futuro próximo, façam parte da rotina das propriedades leiteiras no Brasil.

Referências bibliográficas

1. ARBEX, A., SANTOS, K. L. NASCIMENTO, E. O. et al. Computação móvel aplicada à pecuária de precisão para a determinação do escore da condição corporal. In: X Congresso Brasileiro de Agroinformática, 2015, Ponta Grossa. *Anais do X Congresso Brasileiro de Agroinformática*: Ponta Grossa, 2015.
2. AUNGIER, S. P. M.; ROCHE, J. F.; DUFFY, P. et al. The relationship between activity clusters detected by an automatic activity monitor and endocrine changes during the periestrus period in lactating dairy cows. *J. Dairy Sci.*, v.98, p. 1666-1684, 2015.
3. AZZARO, G., CACCAMO, M., FERGUSON, J. D. et al. Objective estimation of body condition score by modeling cow body shape from digital images. *J. Dairy Sci.*, v.94, p.126-2137, 2011.
4. BEWLEY, J. M., PEACOCK, A. M., LEWIS, O., et al. Potential for Estimation of Body Condition Scores in Dairy Cattle from Digital Images *J. Dairy Sci.*, v.91, p.3439-3453, 2008.
5. BRUYÈRE, A. P., HÉTREAU, T., PONSART, C. et al. Can video cameras replace visual estrus detection in dairy cows? *Therio.*, v. 77, p. 525–530, 2012.
6. CARVALHO, B. C.; OLIVEIRA, V. M.; PIRES, M. F. A. et al. Manejo Reprodutivo. In: AUAD, A. M.;
7. SANTOS, A. M. B.; CARNEIRO, A. V. et al. *Manual de Bovinocultura de Leite*. Brasília: LK Editora; BeloHorizonte: Senar-AR/MG; Juiz de Fora: Embrapa Gado de Leite. p.85-121. 2010
8. CARVALHO, B. C., MACHADO, F. S., PIRES, M. F. A. ET AL. *Pecuária de precisão: pesquisa em saúde e comportamento alimentar*. Revista Leite Integral. São Paulo: n.68. p. 68-72, 2014.
9. CHAINT-DIZIER, M. E CHAISTANT-MAILARD, S. Towards an automated detection of oestrus in dairy cattle. *Reprod. Dom. Anim.*, v. 47, p. 1056-1061, 2012.
10. CHIZZOTI, M. L., MACHADO, F. S., VALENTE, E. E. L. et al. Technical note: Validation of a system for monitoring individual feeding behavior and individual feed intake in dairy cattle. *J. Dairy Sci.*, v. 98, p. 1–5, 2015
11. COFFEY, M. P., MCFARLANE, N. A.; MOTTRAM, T. The feasibility of automatic condition scoring. *Holstein. J. Dairy Sci.*, v.66, p.82-83, 2003.
12. DALTON J. C., NADIR S., BAME J. H. et al. 2001. Effect of time of insemination on number of accessory sperm, fertilization rate, and embryo quality in nonlactating dairy cattle. *J. Dairy Sci.*, v.84, p.2413-2418, 2001.
13. DISKIN, M. G., SREENAN, J. M. Expression and detection of oestrus in cattle. *Reprod. Nutr. Dev.*, v.40, p.481-491, 2000.
14. DOBSON, H., SMITH, R., ROYAL, M., et al. The high-producing dairy cow and its reproductive performance. *Reprod. Dom. Anim.*, v. 42 (Suppl. 2), p. 17–23, 2007.
15. DRANSFIELD M. B. G., NEBEL R. L., PEARSON R. E., WARNICK L. D. Timing of insemination for dairy cows identified in estrus by a telemetric estrus detection system. *J. Dairy Sci.*, v. 8, p. 1874-1882, 1998.
16. FARRIS, E. J. Activity of Dairy cows during estrus. *J. Am. Vet. Med. Ass.*, v. 125, p. 117,1954.
17. FERGUSON, J. D., G. AZZARO, E G. LICITRA. Body condition using digital images. *J. Dairy Sci.*, v.89, p.3833-3841, 2006.
18. FERREIRA, A. *Reprodução da fêmea bovina: fisiologia aplicada e problemas mais comuns*. Valença: s.ed., 2010. 420 p.
19. GALON, N, The use of pedometry for estrus detection in dairy cows in Israel. *J. Reprod. Dev.*, v. 56(Suppl.), S48–S52, 2010.
20. HALACHMI I, POLAK, P. ROBERTS, D. et al. Cow body shape and automation of scoring BCS. *J. Dairy Sci.*, v. 91, p. 4444–445, 2008.
21. HOCKEY, C., MORTON, J., NORMAN, S., MCGOWAN, M. Evaluation of a neck mounted 2-hourly activity meter system for detecting cows about to ovulate in two paddock-based Australian dairy herds. *Reprod. Dom. Anim.*, v.45, p.107-117, 2010.
22. HOMER, E. M., GAO, Y, MENG, X et al. Technical note: A novel approach to the detection of estrus in dairy cows using ultra-wideband technology. *J. Dairy Sci.*, v. 96, p.6529 - 6534, 2013.
23. JEFFREY M. B E M SCHUTZ, M. M. Potential of Using New Technology for Estimating Body Condition Scores. In: *Tri-State Dairy Nutrition Conference*, p. 23-38, 2009.
24. KIDDY C. A, Variation in physical activity as an indication of estrus in dairy cows. *J. Dairy Sci.*, v. 60, p. 235–243, 1977.
25. LOPEZ, H., SAITTE, L. D. e WILTBANK, M. C. Relationship between level of milk production and estrous behavior of lactating dairy cows. *Anim. Reprod. Sci.*, v. 81, p. 209-223, 2004.
26. LOVENDAHL, P. e CHAGUNDA, M. G. G. On the use of physical activity monitoring for estrus detection in dairy cows. *J. Dairy Sci.*, v.93, p.249-259, 2010.
27. LYIMO, Z. C; NIELEM, I. M; OUWELTJES, W. et al. Relationships among estradiol, cortisol and intensity of estrous behavior in dairy cattle. *Therio.genology*, v. 53, p. 1783-1795, 2000
28. MAATJE K., LOEFFLER S. H., ENGEL B. Predicting optimal time of insemination in cows that show visual signs of estrus by estimating onset of estrus with pedometers. *J. Dairy Sci.*, v. 80, p. 1098-1105, 1997.
29. MIZUTA K. *Estudo comparativo dos aspectos comportamentais do estro e dos teores plasmáticos de LH, FSH, progesterona*

- terona e estradiol que precedem a ovulac, ão em fêmeas bovinas Nelore (*Bos taurus indicus*), Angus (*Bos taurus taurus*) e Nelore x Angus (*Bos taurus indicus* x *Bos taurus taurus*). Tese: Faculdade de Medicina Veterinária e Zootecnia, Universidade de São Paulo, São Paulo, 2003.98 fl.
30. O'NEILLA, C. J., BISHOP-HURLEY, G. J., WILLIAMS, P. J. Using UHF proximity loggers to quantify male-female interactions: A scoping study of estrous activity in cattl. et al. *Anim. Reprod. Sci.*
 31. OZKAYA, S. E BOZKURT, Y. The relationships of parameters of body measures and body weight by using digital imaging analyses in pré-slaughter cattle. *Arch. Tierz. V. 51*, p. 120-128, 2008
 32. PINHEIRO, O.L., BARROS, C.M., FIGUEIREDO, R.A. et al. Estrous behavior and the estrus-to-ovulation interval in Nelore cattle (*Bos indicus*) with natural estrus or estrus induced with prostaglandin F2 alpha or norgestomet and estradiol valerate. *Therio*, v. 49, p.667-681, 1998.
 33. POLSON, J. *Method and apparatus for animal heat detection and recording*. US Pat. 3844273. 29 out. 1974. Disponível em <http://www.google.com/patents/US3844273>.
 34. ROCHE, J. R.; FRIGGENS, N. C.; KAY, J. K. et al. Invited review: Body condition score and its association with dairy cow productivity, health, and welfare. *J Dairy Sci.*, v. 92, p. 5769-5801, 2009.
 35. ROELOFS, J. B., VAN EERDENBURG, F. J. C. M., SOEDE, N. M. e KEMP, B. Pedometer readings for estrous detection and as predictor for time of ovulation in dairy cattle. *Therio*, v.64, p.1690-1703, 2005.
 36. ROELOFS, J., LÓPEZ-GATIUS, F., HUNTER, R. H. F. C. et al. When is a cow in estrus? Clinical and practical aspects. *Therio*, v.74, p. 327-344, 2010.
 37. ROELOFS, J. B. E VAN ERP-VAN DER KOOIJ, E. Estrus detection tools and their applicability in cattle: recent and perspectival situation. *Anim. Reprod.*, v.12, n.3, p.498-504, 2015.
 38. RUTTEN, C. J., VELTHUIS, A. G. J., STEENEVELD, W., HOGVEEN, H. Sensors to support health management on dairy farms. *J. Dairy Sci.*, v.96, p.1928-52, 2013.
 39. SARTORI, R.; BARROS, C. M. Reproductive cycles in *Bos indicus* cattle. *Anim. Reprod. Sci.*, v. 124, p. 244-250, 2011.
 40. SENGER P. L. The estrus detection problem: new concepts, technologies, and possibilities. *Journal J. Dairy Sci.*, v.77, p.2745-53, 1994.
 41. STEVENSON, J. S. Reproductive Management with Limited Hormonal Intervention. *Proceedings of West Canadian Dairy Seminar (WCDS) Advances in Dairy Technology* , v. 26, p. 259 - 272, 2014. Disponível em: <http://www.wcds.ca/proceedings.cgi>
 42. TALUKDER, S., KERRISK, K. L., INGENHOFF, L. et al. Infrared technology for estrus detection and as a predictor of time of ovulation in dairy cows in a pasture-based system . *Therio*, v. 81, p. 925-935, 2014.
 43. TRIMBERGER, G. W. Breeding efficiency in dairy cattle from artificial insemination at various intervals before and after ovulation, Res. Bull. *Nebraska Agricultural Exp.* 153 26 p, 1948.
 44. VARGAS, M. W. *Avaliação automatizada do comportamento ingestivo de vacas da raça Holandês com métrite puerperal*. 2015. 73 fl. Dissertação (mestrado em Reprodução, sanidade e bem estar animal): Universidade José do Rosário Vellano – Unifenas, Alfenas.
 45. XU Z. Z., MCKNIGHT D. J., VISHWANATH R. et al. Estrus detection using radiotelemetry or visual observation and tail painting for dairy cows on pasture. *J. Dairy Sci.*, v. 81, p.2890-2896, 1998.
 46. WALSH, S. W., WILLIAMS, E. J., EVANS, A. C. O. A review of the causes of poor fertility in high milk producing dairy cows. *Anim. Reprod. Sci.*, v. 123 p. 127-138, 2011.
 47. WILTBANK, M., LOPEZ, H., SARTORI, R., SANGSRITAVONG, S., GUMEN, A. Changes in reproductive physiology of lactating dairy cows due to elevated steroid metabolism. *Therio*, v.65, p.17-29, 2006.
 48. YOSHIOKA H., ITO M., TANIMOTO Y. Effectiveness of real-time radiotelemetric pedometer for estrus detection and insemination in Japanese Black cows. *J. Reprod. Dev.*, v.56, p.351-355, 2010.



Sistema de ordenha automático

bigstockphoto.com

Cláudio Antônio Versiani Paiva¹ - CRMV-MG 6203, Luiz Gustavo Ribeiro Pereira¹ - CRMV-MG5930, Thierry Ribeiro Tomich¹, Fernando Pimont Possas² - CRMV-MG 7779

¹ Embrapa Gado de Leite, Complexo Multiusuário de Bioeficiência e Sustentabilidade da Pecuária, Coronel Pacheco, Minas Gerais

² Bolsista Pós-Doc – CAPES – Universidade Federal de São João del-Rei/Embrapa

1. Introdução

O aumento no valor dos preços de terra e da mão de obra e a diminuição da lucratividade nas últimas décadas têm motivado produtores de leite a aumentarem a eficiência dos sistemas de produção (de Koning, 2004). A adoção de tecnologias de automação e pecuária de precisão tem contribuído para o aumento dessa eficiência. O maior impacto pode ser constatado na redução do tempo e dos custos de atividades como remoção e tratamento de dejetos, alimentação e ordenha dos animais.

Tradicionalmente, a ordenha das vacas está associada a uma atividade laboral intensa, mesmo após o advento dos sistemas de ordenha mecânicos. No entanto, a robotização dos sistemas de ordenha tornou o processo mais flexível e menos laborioso (Hogeveen *et al.*, 2004). O sistema de ordenha robotizado, também conhecido como automático (AMS,

do inglês *Automatic Milking System*) ou voluntário (VMS, do inglês *Voluntary Milking System*), promoveu a automação completa de todo o processo de ordenha. Sensores monitoram e registram automaticamente o volume de leite, parâmetros de qualidade do leite e frequência de ordenha dos animais, mantendo um arquivo de todos os processos realizados sem a intervenção humana (Bloss, 2014). Várias empresas lançaram comercialmente os seus robôs de ordenha, incluindo a DeLaval, Fullwood, GEA Farm Technologies, SAC, Lely, Boumatic e Insentec.

O primeiro sistema de ordenha automático foi instalado na Holanda, em 1992, pela empresa Lely (Schewe e Stuart, 2015). Desde então tem-se observado um crescimento significativo no número de fazendas ao redor do mundo que têm adotado o AMS. Atualmente, estima-se que mais de 10.000 sistemas de

ordenha robotizados estejam operando em aproximadamente 5.500 fazendas no mundo inteiro (de Koning, 2011; Svennersten-Sjaunjae Pettersson, 2014). A maioria das fazendas que adotaram o sistema de ordenha automático está localizada no continente europeu, em países como Holanda, Dinamarca, Noruega e Suécia; porém a sua adoção vem crescendo também nos países da América do Norte (Bisaglia *et al.*, 2012). A primeira ordenha robótica instalada na América do Norte ocorreu no fim dos anos 90 (Walker *et al.*, 2014). Estima-se que mais de 200 fazendas nos EUA e 350 no Canadá operavam com AMS entre 2011 e 2012 (Gillespie *et al.*, 2014; Schewe e Stuart, 2015; Tranel *et al.*, 2015). A adoção dos sistemas robotizados de ordenha deve continuar crescendo ao redor do mundo, impulsionada pela escassez e encarecimento da mão de obra associada à preferência por não empregar mão de obra não familiar e à demanda por mais flexibilidade do trabalho e qualidade de vida (Bloss, 2014; Schewe e Stuart, 2015).

No Brasil, a primeira ordenha robótica foi instalada em Castro/PR e entrou em operação em 2012. Em 2015, pouco mais de dez unidades robóticas encontravam-se em operação em 10 fazendas. Até o momento, duas empresas estão comercializando o equipamento no Brasil, e a estimativa é que, em 2020, aproximadamente 50 unidades estejam em funcionamento no Brasil.

Uma recente pesquisa

realizada com produtores de leite da Europa indicou que 40% dos investimentos a serem realizados em novas salas de ordenha preveem a instalação de sistemas de ordenha robotizados. Estima-se que a proporção de vacas ordenhadas com o AMS no mundo alcance 18% em 2016 (Holloway, 2014).

2. Operação do sistema de ordenha automático

O sistema de ordenha automático (AMS) é composto por diferentes módulos: sistema de contenção, sistema de detecção de tetos, braço robótico para colocação dos insufladores, sistema de limpeza

de tetos, sistema de sensores, *software* e o próprio equipamento de ordenha (Hogeveen *et al.*, 2001). A entrada e a saída da vaca dentro do sistema de contenção são controladas por portões automáticos. Uma vez contida no *box* de ordenha, o braço robótico encontra os tetos da vaca, lava-os, estimula-os, retira e examina os primeiros jatos para anormalidades, para posterior acoplamento individual dos

insufladores. O fluxo de leite é monitorado e o desacoplamento é realizado individualmente por quarto. Após a retirada dos insufladores,

o braço robótico aplica um *spray* de desinfetante em todos os tetos, para posterior liberação da vaca (Walker *et al.*, 2014).

Os sistemas de ordenha automáticos apresentam várias configurações e composições, dependendo

A adoção dos sistemas robotizados de ordenha deve continuar crescendo ao redor do mundo, impulsionada pela escassez e encarecimento da mão de obra, associada à preferência por não empregar mão de obra não familiar e à demanda por mais flexibilidade do trabalho e qualidade de vida.

Uma vez contida no box de ordenha, o braço robótico encontra os tetos da vaca, lava-os, estimula-os, retira e examina os primeiros jatos para anormalidades, para posterior acoplamento individual dos insufladores.

do fabricante. A apresentação mais simples é constituída por uma única unidade com um único braço robótico. Essas unidades possuem capacidade para ordenhar um rebanho de 50 a 60 vacas. Alguns fabricantes projetaram sistemas em que um único braço robótico serve duas unidades de ordenha, aumentando a capacidade de ordenha para 80 a 90 vacas. Há ainda a opção de se organizarem as unidades de ordenha robóticas em *clusters*, dispersas por todo o galpão, em galpões tipo *tie stall*, e adaptadas em sistemas convencionais rotativos, e dessa forma expandir a capacidade de ordenha para médios e grandes rebanhos (Walker *et al.*, 2014).

O *design* do AMS exige pouco espaço para a sua instalação, podendo operar em praticamente qualquer sistema, desde aqueles confinados até sistemas a pasto, podendo ser facilmente realocado em função de uma nova instalação ou expansão do sistema de produção (de Koning e Rodenburg, 2004; Reinemann, 2008; de Koning, 2011; Rodenburg, 2013; Scott *et al.*, 2015).

Ao projetar o *layout* das instalações, é necessário levar em conta uma série de fatores, como oferecer máximo conforto para as vacas, altas taxas de frequência de ordenha, curtos períodos de espera para ordenha e fácil acesso à área de descanso. No entanto, nenhum projeto consegue suprir todos esses fatores integralmente, devido aos conflitos entre oferecer máximo conforto e obter máxima eficiência no manejo das vacas (de Koning, 2011). O tipo de fluxo a ser adotado depende de fatores relacionados às questões estruturais e de manejos específicos de cada fazenda. Geralmente as vacas podem acessar o AMS por três tipos de fluxo:

Fluxo livre: as vacas acessam o robô quando este se encontra livre, assim como possuem acesso irrestrito à pista de alimentação e à área de descanso. Esse tipo de fluxo

normalmente resulta em menores taxas de frequência de ordenha e maior número de vacas a serem ordenhadas involuntariamente. Contudo, é o sistema que confere maior liberdade e bem-estar às vacas (Fig. 1);

Fluxo forçado com alimentação primeiro: as vacas possuem acesso livre à pista de alimentação e obrigatoriamente passam pelo robô para obterem acesso à área de descanso. Se elas foram recentemente ordenhadas, serão desviadas diretamente para a área de descanso. Esse tipo de fluxo resulta em intervalos entre ordenhas mais regulares, menor número de vacas com longos intervalos entre ordenhas e reduzido número de ordenhas involuntárias. Contudo, nesse sistema as vacas podem hesitar em passar pelos portões de separação e permanecerem por mais tempo na área de alimentação (Fig. 2);

Fluxo forçado com ordenha primeiro: as vacas devem obrigatoriamente passar pelo robô para obterem acesso à pista de alimentação e retornarem à área de descanso. Nesse

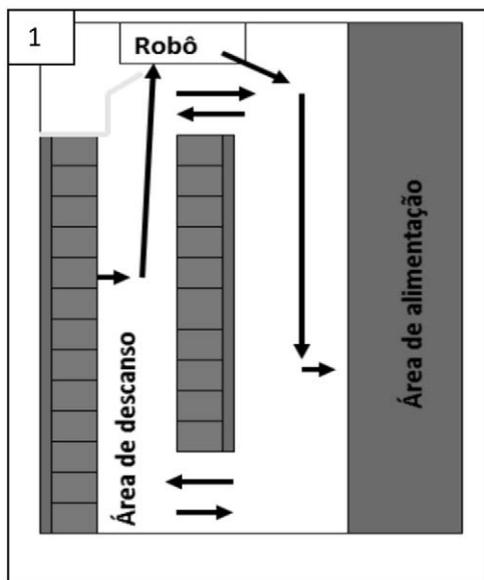


Figura 1. Modelo de *layout* de fluxo livre.

Fonte: Adaptado de Rodenburg (2014).

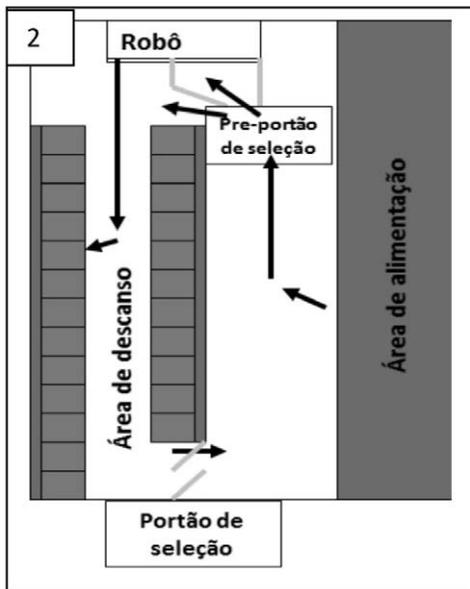


Figura 2. Modelo de *layout* de fluxo forçado com alimentação primeiro.

Fonte: Adaptado de Rodenburg (2014).

sistema as vacas podem formar longas filas e permanecerem por mais tempo em pé na área de espera, impactando frequência de ordenha e aumentando problemas relacionados ao casco. Um bom projeto deve contemplar uma área de espera adequada próxima à unidade robótica (Fig. 3).

Estudo realizado por Schewe e Stuart (2015), com pequenas e médias fazendas, mostrou que a maioria absoluta dos produtores europeus que adotaram o AMS fizeram opção pelo sistema de fluxo livre. Em contraste, a maioria dos produtores americanos teve preferência pelo fluxo forçado.

Para motivar a entrada no robô, normalmente é ofertada uma quantidade variável de concentrado no momento da ordenha (Prescott *et al.*, 1998), impactando diretamente no fluxo de animais ordenhados. Nesse sentido, Scott *et al.* (2015) observaram uma forte associação entre a ordenha voluntária e o acesso à alimentação concentrada pós-or-

denha, possuindo ainda potencial de manejar essa relação para influenciar o tráfego de animais na sala de espera. Além de manter o interesse das vacas em se aproximarem do robô, a adequada oferta de concentrado contribui para a manutenção da condição corporal e a garantia de uma suficiente produção de leite.

Cada sistema de produção determina a frequência máxima de visitas diárias das vacas ao robô, podendo ser programado valores individuais, por lote, ou para todo o rebanho. Normalmente, esse valor varia de 5 a 6 visitas por dia, com o objetivo de maximizar a produção sem causar estresse adicional aos animais (Schewe e Stuart, 2015). Forsberg *et al.* (2002) observaram que fazendas que optaram pelo fluxo livre obtiveram as menores frequências de visitas voluntárias, quando comparadas àquelas que adotaram o fluxo forçado. Por outro lado, a produção de leite não diferiu significativamente entre os dois tipos de sistema.

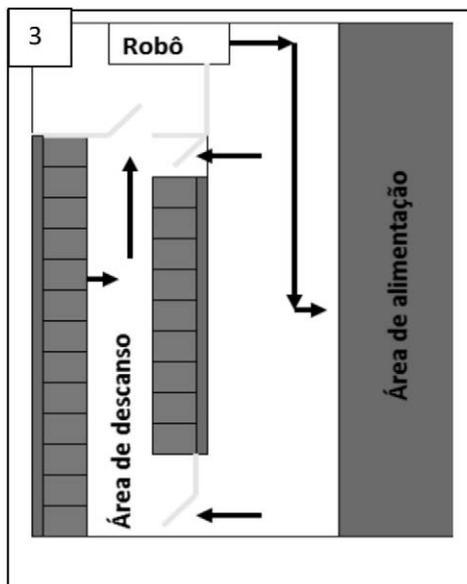


Figura 3. Modelo de *layout* de fluxo forçado com ordenha primeiro.

Fonte: Adaptado de Rodenburg (2014).

O período de adaptação das vacas ao novo sistema normalmente apresenta grandes variações entre fazendas. Castro *et al.* (2015) observaram que o período médio de adaptação das vacas foi de 188 dias, ao passo que Jacobs e Siegford (2012) observaram que, em fazendas americanas, 95% das vacas foram ordenhadas voluntariamente dentro de 30 dias. Divergências entre fazendas podem indicar que o protocolo de transição utilizado talvez não seja o recomendado pelos fabricantes do AMS. Adicionalmente, o sucesso da implantação de um sistema de ordenha automático dependerá de fatores como planejamento adequado das instalações, conhecimento e capacitação da mão de obra para operá-lo (Hillerton *et al.*, 2004). As fazendas que obtiveram maior nível de sucesso na transição para o sistema de ordenha automático foram aquelas em que o número de animais estava de acordo com o dimensionamento do equipamento, e que os fazendeiros já possuíam conhecimento e experiência prévia com sistemas de gerenciamento computadorizado de rebanho (Castro *et al.*, 2015). Por outro lado, Hillerton *et al.* (2004) observaram que a maioria das fazendas que converteram do sistema convencional para o sistema robotizado o fizeram em condições abaixo do nível ideal de estrutura, conhecimento e planejamento. Essas condições ajudam a explicar por que algumas fazendas não obtêm sucesso em manter o sistema AMS.

...a vantagem do AMS está na disponibilidade de mais tempo para atividades gerenciais e estratégicas.

3. Implicações sobre a mão de obra e a qualidade de vida

A pecuária de leite é uma atividade que apresenta limitações em relação ao número de

horas trabalhadas diariamente e às folgas dos funcionários, fatores dependentes da dinâmica de cada fazenda. A operação de ordenha, em especial, requer mão de obra capacitada, porém cada vez mais escassa e onerosa.

Entre as principais razões para a aquisição do AMS, destacam-se escassez e encarecimento da mão de obra, problemas relativos à sucessão familiar e uso de tecnologia inovadora pelos mais jovens, procura por mais tempo com a família, mais qualidade de vida, redução e maior flexibilidade do trabalho, prolongamento do tempo de vida no trabalho a partir da terceira idade. Enfim, o sistema de ordenha robotizado é visto como um sistema poupador de mão de obra e de tempo, tornando o uso do tempo mais produtivo e lucrativo (Butler *et al.*, 2012; Haan *et al.*, 2012; Mathijs, 2004; Castro *et al.*, 2015; Schewe e Stuart, 2015; Walker *et al.*, 2015).

Pesquisas realizadas até o presente momento têm apontado reduções entre 19% e 50% do tempo associado à ordenha das vacas, além da redução no quantitativo e custo da mão de obra após a instalação do AMS (de Koning and Rodenburg, 2004; Mathijs, 2004; Bijl *et al.*, 2007; Heikkila *et al.*, 2010; Borchers, 2015; Castro *et al.*, 2015; Steeneveld e Hogeveen, 2015). Nesse sentido, Dijkhuizen *et al.* (1997) observaram que a substituição de mão de obra em fazendas que adotaram o AMS pode resultar em economia de US\$ 200,00/vaca/ano.

No entanto, o número de pessoas dedicadas à atividade como um todo não tem sofrido grandes mudanças em relação ao sistema de produção convencional. Nesse sentido, a vantagem do AMS está na disponibilidade de se ter mais tempo para atividades gerenciais e estratégicas (Edmondson, 2015). A

maior parte desse tempo é ocupada com atividades ou funções associadas à checagem e monitoramento dos dados e informações gerados pelo sistema, enquanto ocorre redução do tempo gasto com atividades operacionais (Butler *et al.*, 2012; Castro *et al.*, 2015).

A adoção do AMS tem alterado de forma significativa o papel do produtor de leite e sua relação com as vacas. Em vez de gastarem o tempo ordenhando as vacas, eles permanecem mais tempo inspecionando e observando os animais, o que pode ser considerado uma vantagem em relação ao sistema de ordenha convencional. Dessa forma, os produtores podem detectar problemas mais precocemente em função da maior disponibilidade de tempo para observar os animais (Butler *et al.*, 2012; Schewe e Stuart, 2015).

Nesse contexto, as tecnologias de automação e precisão em todas as suas dimensões e áreas aplicáveis surgem para complementar a mão de obra. Ao criar novas oportunidades, demandam mão de obra especializada, ampliam os salários pagos aos novos trabalhos e funções, promovem o aumento da produtividade e eficiência dos sistemas de produção (David H. Autor, 2015).

4. Implicações sobre a produtividade, saúde do úbere e bem-estar animal

Uma unidade de ordenha robótica pode aumentar a produção de leite entre 6% e 35% devido, principalmente, ao aumento da frequência de ordenha (Kruip *et al.*, 2002; Wagner-Storch e Palmer, 2003; de Koning e Rodenburg, 2004; Speroni *et al.*, 2006; Walker *et al.*, 2014; Steeneveld *et al.*, 2015). O número de frequências de ordenha alcançado no AMS depende de fatores como tipo de fluxo e rotina de ordenha adotados, sendo que as frequências podem ser pré-determina-

das e adaptadas ao estágio de lactação ou ao tipo de sistema de produção (Svennersten-Sjaunja e Pettersson, 2008). Estudos têm demonstrado que a frequência média de ordenhas em um sistema de ordenha automático tem variado entre 2,5 a 3,0 ordenhas/vaca/dia. Vacas de alta produção são incentivadas a serem ordenhadas até quatro a cinco vezes por dia, estimulando o acesso à ordenha pelo fornecimento de alimentação concentrada várias vezes ao dia (Walker *et al.*, 2014). Adicionalmente, o fornecimento de alimentação concentrada durante a ordenha nesse tipo de sistema tem sido associado à redução do tempo de ordenha, aumento do fluxo e maior extração do leite (Samuelsson *et al.*, 1993). A explicação mais provável tem a ver com a melhora do reflexo de liberação da oxitocina quando a alimentação concentrada é fornecida (Svennersten *et al.*, 1995). Outro fator que tem sido associado ao aumento da produção de leite no AMS é a adoção de uma rotina de ordenha consistente e sistemática (Rasmussen *et al.*, 1990). O AMS permite que o processo de ordenha seja executado sempre da mesma forma a cada ordenha, tornando a rotina previsível para as vacas.

Contudo, algumas fazendas comerciais têm reportado que a expectativa de aumento na produção de leite não se concretizou após a implantação do AMS. O resultado negativo pode ser creditado parcialmente à redução da curva de lactação, ocorrida em função dos intervalos irregulares entre ordenhas e às falhas na colocação dos insufladores (Billon e Tournaire, 2002; Bach e Busto, 2005). Porém, a maioria dos casos reportados de queda na produção foi devido às mudanças estruturais e de manejo que ocorreram concomitantemente à adoção do AMS (Steeneveld e Hogeveen, 2015).

Walker *et al.* (2014) avaliaram sete rebanhos que fizeram a transição de um sistema

de ordenha convencional para o automático. Observaram que quatro fazendas aumentaram a produção média de leite por lactação, uma fazenda apresentou diminuição, enquanto em duas não foi possível determinar o efeito sobre a produção (Tab. 1).

Sistemas de ordenha automáticos geram grande quantidade de dados relacionados aos parâmetros de ordenha, qualidade do leite, alimentação e atividade dos animais (Garcia *et al.*, 2014). Esses dados constituem a base para os alarmes pré-definidos pelo usuário, os quais podem ser consultados diariamente pelo gestor da fazenda. Estudos realizados até o momento relatam que a incidência de doenças é extremamente variável entre fazendas que adotaram o AMS. Entre os principais fatores que influenciam os parâmetros de saúde das vacas, destacam-se o manejo de adaptação ao sistema robótico, a estrutura disponível, a temporalidade e tipificação das decisões tomadas (Hillerton *et al.*, 2004, Schewe e Stuart, 2015).

Edmondson (2015) cita que, em rebanhos bem dimensionados e manejados, os níveis de mastite e outras doenças podem ser

menores com o uso de robôs. Porém, quando essas condições não estão presentes, pode haver aumento da CCS, de problemas de casco e aqueles relacionados à nutrição. Nesse sentido, Zecconi *et al.* (2003) reportaram que a adoção do sistema de ordenha automático por si só não piorou a saúde do úbere das vacas quando o manejo e o *status* sanitário do rebanho estavam em níveis satisfatórios no momento da sua implantação. Sarikaya e Bruckmaier (2006) reportaram que a adoção do AMS reduziu a taxa de sobreordenha comumente observada em sistemas de ordenha convencionais, influenciando de forma positiva a CCS do leite individual das vacas.

Por outro lado, há estudos demonstrando que, imediatamente após a adoção do AMS, ocorre um aumento da CCS do leite de tanques individuais; porém, retornando aos níveis pré-adoção após o período de transição (Klungel *et al.*, 2000; Rasmussen *et al.*, 2001, 2002; Kruij *et al.*, 2002). Alguns fatores, como intervalos maiores e irregulares de ordenha, podem ocasionar maior pressão intramamária, fazendo com que algumas vacas apresentem maior nível de gotejamento de

Tabela 1. Comparação da produção de leite entre sistemas de ordenha automáticos e convencionais no Canadá

Fazenda	Tamanho do rebanho (n)	Frequência média de ordenha/dia	Produção vaca/ano antes da adoção do AMS	Produção vaca/ano após a adoção do AMS	Diferença (%)
A	49	3,1	9.000	10.600	+17,8%
B	50	2,8	-	-	-
C	125	2,7	8.900	9.550	+7,3%
D	55	3,2	8.482	9.739	+14,8%
E	59	2,6	-	-	-
F	65	2,5	7.500	8.600	+14,7%
G	95	2,8	8.700	7.200	-17,2%

Fonte: Adaptado de Walker *et al.* (2014).

leite entre ordenhas, o que, por sua vez, está relacionado a um maior risco de incidência de mastite no rebanho (Persson Waller *et al.*, 2003). Outro fator que explicaria a maior contagem de CCS é a parada técnica do robô para manutenção. Novamente, algumas vacas podem experimentar intervalos extremamente longos, o que aumenta o risco de mastite (Pettersson *et al.*, 2002). Esse fato indica a importância de se ter a assistência técnica disponível 24 horas para minimizar os períodos de interrupções.

Steenefeld *et al.* (2015) observaram que, dependendo do manejo e dinâmica da fazenda, os alarmes de mastite emitidos pelo AMS podem não ser atendidos imediatamente, e mesmo os animais que não desencadearam o acionamento do alarme, mas que seriam identificados como caso clínico de mastite pelo ordenhador em sistemas de ordenha convencionais, acabavam passando despercebidamente nos sistemas de ordenha automáticos.

Em relação à contagem bacteriana total do leite (CBT), estudos realizados na Holanda e Dinamarca indicaram que a CBT do leite de tanques individuais aumentaram após a introdução do AMS. Entre as causas mais prováveis estão problemas relacionados

à deficiência na gestão de processos, como limpeza do equipamento e dos tetos, maior tempo de permanência do leite dentro do sistema de ordenha automático e aqueles ligados ao tempo de resfriamento do leite, alimentos e camas contaminadas e condições de limpeza e higiene do ambiente (Klungel *et al.*, 2000; Rasmussen *et al.*, 2002; Magnusson, 2007).

Walker *et al.* (2014) avaliaram sete rebanhos que fizeram a transição de um sistema de ordenha convencional para o automático. Observaram que a CCS diminuiu em três fazendas, ao passo que três fazendas apresentaram aumento. Apenas uma fazenda não experimentou nenhuma mudança na CCS após a transição. Em relação à CBT, observaram que duas fazendas apresentaram decréscimos, uma fazenda não mostrou alteração no número de bactérias totais, e duas fazendas apresentaram uma tendência de alta após a transição (Tab. 2).

Implicações sobre a composição do leite foram relatadas por Svennersten-Sjaunja *et al.* (2000), que demonstraram não haver diferença nos teores de gordura e proteína quando compararam sistemas de ordenha convencional e automático. Justesen e Rasmussen (2000) observaram que os níveis de ácidos

Tabela 2. Comparação dos parâmetros de qualidade do leite entre sistemas de ordenha automáticos e convencionais no Canadá

Fazenda	Tamanho do rebanho (n)	CCS antes da adoção do AMS	CCS após a adoção do AMS	Diferença (%)	CBT antes da adoção do mas	CBT após a adoção do AMS	Diferença (%)
A	49	200.000	100.000	-50,0%	4.000	2.500	-37,5%
B	50	125.000	225.000	+80,0%	-	-	-
C	125	200.166	185.833	-7,7%	7.634	4.925	-35,5%
D	55	150.000	162.000	+8,0%	1.346	2.102	+56,0%
E	59	200.000	200.000	0,0%	3.000	3.000	0,0%
F	65	325.000	225.000	-30,8%	-	18.000	-
G	95	100.000	325.000	+225,0%	Baixa	Acima da média	Aumentou

graxos livres (AGL) aumentaram em fazendas após adoção do AMS (Klungel *et al.*, 2000; de Koning *et al.*, 2003). Teores elevados de AGL são indesejáveis, pois promovem alterações sensoriais, diminuição da vida de prateleira e de rendimento de fabricação dos produtos lácteos (Tuckey e Stadhouders, 1967; Sapru *et al.*, 1997). Ainda não se conhece exatamente o porquê do aumento dos AGL em leites de vacas ordenhadas automaticamente, mas os estudos realizados até o momento mostram que esse fato pode estar ligado ao aumento da frequência e menor intervalo entre ordenhas, impactando no aumento do tamanho dos glóbulos de gordura e tornando-os mais susceptíveis à lipólise (Ahrne e Bjork, 1985; Ipema e Schuiling, 1992; Klei *et al.*, 1997; Wiking *et al.*, 2003; Wiking *et al.*, 2006).

Questões sobre a influência do sistema de ordenha automático no bem-estar animal têm sido levantadas constantemente. Vacas costumam seguir uma rotina nas atividades de alimentação e descanso. No AMS, os animais seguem uma rotina de alimentação, ordenha e descanso; porém, dependendo do tipo de fluxo, a ordem pode ser alterada, e aguardam em fila para serem ordenhadas. Essa rotina levanta a questão: se vacas de baixa dominância se adaptam a uma situação em que precisam competir por um lugar na fila de espera da ordenha com vacas de alta dominância (Svennersten-Sjaunja e Pettersson, 2008). Estudos sobre estresse proporcionado pelo AMS apresentam divergências. Enquanto alguns demonstraram que o AMS promove o bem-estar da vaca, pois proporciona uma frequência de ordenha mais natural e as vacas se tornam muito mais calmas devido à menor intervenção humana no manejo dos animais (Reinemann, 1999; Tranel *et al.*, 2012; Walker *et al.*, 2015), outros demonstraram que vacas apresentaram um aumento no nível de estresse mensurado pela variabilidade

da taxa de batimento cardíaco. Contudo, esse mesmo nível de estresse não foi observado durante a ordenha quando medido pelo nível de cortisol (Hagen *et al.*, 2005; Gygas *et al.*, 2006).

5. Viabilidade econômica da adoção do sistema de ordenha automático

Em avaliação realizada por Walker *et al.* (2014) no Canadá, o custo médio de aquisição por vaca de uma unidade nova do AMS é de US\$ 4.846,09, ao passo que esse valor é de US\$ 1.706,16 para um sistema novo de ordenha convencional, uma diferença de 184%. O custo médio de manutenção por vaca do AMS é de US\$ 93,12, enquanto esse valor é de US\$ 49,40 para o sistema de ordenha convencional; uma diferença de 89%. O custo médio de consumíveis químicos por vaca do AMS é de US\$ 64,99, enquanto que esse valor é de US\$ 48,03 para o sistema de ordenha convencional; uma diferença de 35%. Os autores reportaram que considerações em relação ao custo da mão de obra são questões fundamentais para a tomada de decisão entre adquirir um sistema de ordenha convencional ou um automático. O número médio de vacas ordenhadas por hora trabalhada do AMS é de 138,4, enquanto esse valor é de 38,2 para o sistema de ordenha convencional. uma diferença de 262%. O tempo médio para se ordenhar uma vaca no AMS é de 0,62 minutos, ao passo que esse valor é de 1,72 minutos para o sistema de ordenha convencional; uma diferença de -64%. O custo médio da mão de obra relativa à ordenha por vaca/ano em fazendas com AMS é de US\$ 157,00, enquanto esse valor é de US\$ 334,00 no sistema de ordenha convencional; uma diferença de -53%. Existem poucos estudos de viabilidade econômica sobre o uso do sistema de ordenha automático,

mas Heikkila *et al.* (2010) indicaram uma rentabilidade menor de fazendas com AMS comparadas aos sistemas convencionais, principalmente nos anos logo após a sua adoção. O custo de aquisição de um robô difere entre fabricantes e modelo, com preços variando entre US\$ 175.000,00 e US\$250.000,00 por uma unidade básica (Hyde e Engel, 2002; Holloway *et al.*, 2014). Além do investimento no robô em si, normalmente se faz necessária a adaptação ou construção de novas estruturas para acomodar os equipamentos, podendo o investimento total ultrapassar facilmente US\$ 500.000,00.

Os custos de manutenção desses equipamentos também variam entre fabricantes, modelos e perfil de manutenção de cada fazenda, mas estima-se um custo mensal entre US\$ 400,00 e US\$ 1.200,00. Considerando o mesmo tamanho de rebanho e nível de produção, estima-se que o custo de investimento em uma unidade do AMS seja entre 150% a 260% superior ao de um sistema de ordenha convencional (Reinemann, 1999). No sentido de amortizar esses custos, recomendam-se ações focadas no aumento da produção e no tamanho do rebanho como forma de maximizar os investimentos do AMS (Heikkila *et al.*, 2010; Schewe e Stuart, 2015).

Schewe e Stuart (2015) estudaram o impacto financeiro na adoção do AMS, e encontraram diferenças significativas entre países e entre fazendas. Os autores argumentam que as implicações da adoção do AMS não são vivenciadas de forma uniforme pelos produtores, e que as variações na adoção e uso do AMS apresentam variações nos resultados obtidos. Os benefícios econômicos advindos da adoção do AMS variaram em função das

No Brasil a adoção dos sistemas automáticos de ordenha é recente, porém crescente, e demandará mão de obra qualificada e a realização de pesquisas que comprovem a viabilidade de uso em condições brasileiras.

fontes e custos de financiamento, capacidade de endividamento e preço do leite pago ao produtor. Dessa forma, para cada propriedade se faz necessária uma análise econômica detalhada das condições de mercado para a melhor tomada de decisão.

6. Considerações finais

A automação do processo de ordenha é uma tendência mundial e uma resposta aos aumentos do custo, à escassez de mão de obra rural e à necessidade de melhoria da qualidade de vida e da rotina de trabalho na fazenda leiteira. Os equipamentos disponíveis no mercado geram informações que permitem o entendimento da variabilidade individual dos animais, contribuindo para a aplicação dos conceitos de pecuária de precisão. No Brasil a adoção dos sistemas automáticos de ordenha é recente, porém crescente, e demandará mão de obra qualificada e a realização de pesquisas que comprovem a viabilidade de uso em condições brasileiras.

7. Referências bibliográficas

1. AHRNE, L.; BJORK, L. Lipolysis and the distribution of lipase activity in bovine milk in relation to stage of lactation and time of milking. *J. Dairy Res.*, v.52, p.55-64, 1985.
2. AUTOR, D. H. Why Are There Still So Many Jobs? The History and Future of Workplace Automation. *Journal of Economic Perspectives*, v.29, p.3-30, 2015.
3. BACH, A.; BUSTO, I. Effects on milk yield of robotic milking interval regularity and teat cup attachment failures with robotic milking systems. *J. Dairy Res.* v.72, p.101-106, 2005.
4. BIJL, R.; KOOISTRA, S. R.; HOGVEEN, H. The profitability of automatic milking on Dutch dairy farms. *J. Dairy Sci.*, v.90, p.239-248, 2007.
5. BILLON, P.; TOURNAIRE, F. Impact of automatic mi-

- lking systems on milk quality and farm management: The French experience. In: PROC. INT. SYMP. 1STN. AM. CONF. ROBOTIC MILKING, 2002, Toronto, Ontario, Canada. Wageningen, the Netherlands:Wageningen Pers, 2002, p.59–63.
6. BISAGLIA, C.; BELLE, Z.; VAN DEN BERG, G.; POMPE, J. C. A. M. Automatic vs. conventional feeding systems in robotic milking dairy farms: A survey in the Netherlands. In: INTERNATIONAL CONFERENCE OF AGRICULTURAL ENGINEERING, 2012, Valencia. Madrid, Spain:Federacion de Gremios de Editores de Espana, 2012, p.1–6.
 7. BLOSS, R. Robot innovation brings to agriculture efficiency, safety, labor savings and accuracy by plowing, milking, harvesting, crop tending/picking and monitoring. *Industrial Robot: An International Journal*, v.41 (6), p.493–499, 2014.
 8. BORCHERS, M. R.; BEWLEY, J. M. An assessment of producer precision dairy farming technology use, pre-purchase considerations, and usefulness. *J. Dairy Sci*, v.98, p.4198–4205, 2015.
 9. BUTLER, D.; HOLLOWAY, L.; BEAR, C. The impact of technological change in dairy farming: robotic milking systems and the changing role of the stockperson. *Royal Agricultural Society of England*, v.173, p.1–6, 2012.
 10. CASTRO, Á.; PEREIRA, J. M.; AMIAMA, C.; BUENO, J. Typologies of dairy farms with automatic milking system in northwest Spain and farmers' satisfaction. *Ital J Anim Sci*, v.14, p.207-219, 2015.
 11. DE KONING, K. Automatic milking: common practice on over 10,000 dairy farms worldwide. In: PROCEEDINGS OF THE DAIRY RESEARCH FOUNDATION: CURRENT TOPICS IN DAIRY PRODUCTION. Conference Proceedings, Camden, Australia, 2011, p.14–31.
 12. DE KONING, K. Present and future. Innovations to improve milk harvesting. INTERNATIONAL DAIRY FEDERATION, Brussels, Belgium, 2004.
 13. DE KONING, K.; RODENBURG, J. Automatic Milking: State of the art in Europe and North America. In: PROC. AUTOMATIC MILKING – A BETTER UNDERSTANDING. Lelystad, the Netherlands. Wageningen, the Netherlands:Wageningen Acad. Publ., p.27–37, 2004.
 14. DE KONING, K.; SLAGHUIS, B.; VAN DER VORST, Y. Robotic milking and milk quality: Effects on bacterial counts, somatic cell counts, freezing points and free fatty acids. *Ital. J. Anim. Sci.*, v.2, p.291–299, 2003.
 15. DIJKHUIZEN, A. A.; HUIRNE, R. B. M.; HARSH, S. B.; GARDNER, R. W. Economics of robot application. *Computers Electronics Agric*, v.17, p.111–121, 1997.
 16. EDMONDSON, P. Mastitis control in robotic milking systems. *Farm animal practice*, v.34, p. 260-268, 2012.
 17. FORSBERG, A.-M.; PETERSSON, G.; WIKTORSSON, H. Comparison between free and forced cow traffic in an automatic milking system. In: NJF REPORT 337. TECHNOLOGY FOR MILKING AND HOUSING OF DAIRY COWS. Hamar, Norway. Wageningen, the Netherlands:Wageningen Pers, p.131–135, 2002.
 18. GARCIA, E.; KLAAS, I.; AMIGO, J. M.; BRO, R.; ENEVOLDSEN, C. Lameness detection challenges in automated milking systems addressed with partial least squares discriminant analysis. *J. Dairy Sci*, v.97, p.7476–7486, 2014.
 19. GILLESPIE, J.; NEHRING, R.; SITIENEL, I. The adoption of technologies, management practices, and production systems in U.S. milk production. *Agricultural and Food Economics*, p.2-17, 2014.
 20. GYGAX, L.; NEUFFER, I.; KAUFMANN, C.; HAUSER, R.; WECHSLER, B. Milk cortisol concentration in automatic milking systems compared with auto-tandem milking parlors. *J. Dairy Sci.*, v.89, p.3447–3454, 2006.
 21. HAAN, M.; STUART, D.; SCHEWE, B. Challenges and benefits of adopting robotic milking on Michigan dairy farms. Disponível em: <<https://www.msu.edu/~mdr/vol17no3/challenges.html>>. Acesso em 15 de setembro de 2015.
 22. HAGEN, K.; LANGBEIN, J.; SCHMIED, C.; LEXER, D.; WAIBLINGER, S. Heart rate variability in dairy cows – Influences of breed and milking system. *Physiol. Behav.*, v.85, p.195–204, 2005.
 23. HEIKKILA, A. M.; VANNINEN, L.; MANNINEN, E. Economics of small-scale dairy farms having robotic milking. Disponível em: <<http://www.precisiondairy.com/proceedings/s3heikkila.pdf>>. Acesso em 15 de setembro de 2015.
 24. HILLERTON J. E.; DEARING J.; DALE, J.; POELARENDIS, J. J.; NEIJENHUIS, F.; SAMPIMON, O. C.; MILTENBURG, J. D. H. M.; FOSSING, C. Impact of automatic milking on animal health. In: AUTOMATIC MILKING – A BETTER UNDERSTANDING. Wageningen, the Netherlands. Wageningen, the Netherlands :Wageningen Academic Publishers, p.125-134, 2004.
 25. HOGEVEEN, H.; HEEMSKERK, K.; MATHIJS, E. Motivations of dutch farmers to invest in an automatic milking system or a conventional milking parlour. In: AUTOMATIC MILKING; A BETTER UNDERSTANDING. Wageningen, the Netherlands. Wageningen, the Netherlands :Wageningen Academic Publishers, p. 56-61, 2004.
 26. HOGEVEEN, H.; VAN DER VORST, Y.; DE KONING, C.; SLAGHUIS, B. Concepts and implications of automatic milking. In: PROCEEDINGS OF THE 25E SYMPOSIUMSUR LES BOVINS LAITIERS, Quebec, Canada. Quebec, Canada:CRAAQ, p.104-120, 2001. Disponível em: <http://www.agrireseau.qc.ca/bovins-laitiers/Documents/2001_Hogeveen_anglais.pdf>. Acesso em 15 de setembro de 2015.
 27. HOLLOWAY, L.; BEAR, C.; WILKINSON, K. Recapturing bovine life: Robot-cow relationships, freedom and control in dairy farming. *Journal of Rural Studies*, v.33, p.131-140, 2014.
 28. HYDE, J.; ENGEL, P. Investing in a Robotic Milking

- System: A Monte Carlo Simulation Analysis. *J. Dairy Sci.*, v.85, p.2207–2214, 2002.
29. IPEMA, A. H.; SCHULLING, E. Free fatty acids; influence of milking frequency. In: PROC. PROSPECTS FOR AUTOMATIC MILKING. Wageningen, the Netherlands, p.491–496, 1992.
 30. JACOBS, J. A.; SIEGFORD, J. M. Lactating dairy cows adapt quickly to being milked by an automatic milking system. *J. Dairy Sci.*, v.95, p.1575–1584, 2012.
 31. JUSTESEN, P.; RASMUSSEN, M. D. Improvements of milk quality by the Danish AMS self monitoring programme. In: PROC. INT. SYMP. ROBOTIC MILKING, Lelystad, the Netherlands. Wageningen, the Netherlands:Wageningen Pers, p.83–88, 2000.
 32. KLEI, L. R.; LYNCH, J.M.; BARBANO, D.M.; OLTENACU, P. A.; LEDNOR, A. J.; BANDLER, D. K. Influences of milking three times a day on milk quality. *J. Dairy Sci.*, v.80, p.427–436, 1997.
 33. KLUNGEL, G. H.; SLAGHUIS, B. A.; HOGEVEEN, H. The effect of the introduction of automatic milking systems on milk quality. *J. Dairy Sci.*, v.83, p.1998–2003, 2000.
 34. KRUIP, T. A. M.; MORICE, H.; ROBERT, M.; OUWELTJES, W. Robotic milking and its effect on fertility and cell counts. *J. Dairy Sci.*, v.85, p.2576–2581, 2002.
 35. MAGNUSSON, M. *Bacillus cereus* in the housing environment of dairy cows. *Contamination routes, effect of teat-cleaning, and measures to improve hygiene in the cubicles and alleys*. 2007. Tese (Doutorado). Swedish University of Agricultural Sciences, Alnarp, Sweden.
 36. MATHIJS, E. Socio-economic aspects of automatic milking. In: PROC. INT. SYMP. AUTOMATIC MILKING – A BETTER UNDERSTANDING. Wageningen, the Netherlands. Wageningen, the Netherlands :Wageningen Academic Publishers, p.46–55, 2004.
 37. OSTERMAN, S.; BERTILSSON, J. Extended calving interval in combination with milking two or three times per day: Effects on milk production and milk composition. *Livest. Prod. Sci.*, v.82, p.139–149, 2003.
 38. PERSSONWALLER, K.; WESTERMARK, T.; EKMAN, T.; SVENNERSTEN-SJAUNJA, K. Milk leakage – An increased risk in automatic milking systems. *J. Dairy Sci.*, v.86, p.3488–3497, 2003.
 39. PETTERSSON, G.; BERGLUND, I.; HUSFLOEN, A.; TUKIAINEN, R.; SVENNERSTEN-SJAUNJA, K. Effects of temporal technical stoppages in an AMS on bulk milk SCC and number of positive bacterial tests on udder quarter level. In: NJF REPORT 337. TECHNOLOGY FOR MILKING AND HOUSING OF DAIRY COWS. Hamar, Norway. Wageningen, the Netherlands:Wageningen Pers, p.43–45, 2002.
 40. PRESCOTT, N. B.; MOTTRAM, T. T.; WEBSTER, A. J. F. Relative motivations of dairy cows to be milked or fed in a Y-maze and an automatic milking system. *Appl. Anim. Behav. Sci.*, v.57, p.23–33, 1998.
 41. RASMUSSEN, M. D.; BJERRING, M.; JUSTESEN, P.; JEPSEN, L. Milk quality on Danish farms with automatic milking systems. *J. Dairy Sci.*, v.85, p.2869–2878, 2002.
 42. RASMUSSEN, M. D.; BLOM, J. Y.; NIELSEN, L. A. H.; JUSTESEN, P. Udder health of cows milked automatically. *Livest. Prod. Sci.*, v.72, p.147–156, 2001.
 43. RASMUSSEN, M. D.; FRIMER, E.; HORVATH, Z.; JENSEN, N. E. Comparison of a standard and variable milking routine. *J. Dairy Sci.*, v.73, p.3472–3480, 1990.
 44. REINEMANN, D. J. Prospects for robotic milking in Wisconsin. University of Wisconsin Extension, 1999. Disponível em: <http://www.uwex.edu/uwmrl/pdf/RoboticMilking/99_Dairy_Days_Robots.pdf>. Acesso em 15 de setembro de 2015.
 45. REINEMANN, D. J. Robotic milking: Current situation. In: NATIONAL MASTITIS COUNCIL ANNUAL PROCEEDINGS, 2008. Disponível em: <http://www.uwex.edu/uwmrl/pdf/RoboticMilking/RoboticMilking/2008_NMC_Robotic_Milking_Situation.pdf>. Acesso em 15 de Setembro de 2015.
 46. RODENBURG, J. Success factors for automatic milking. In: PRECISION DAIRY CONFERENCE, 2013. Rochester, Minnesota.
 47. RUSSELL, R. A.; BEWLEY, J. M. Characterization of Kentucky dairy producer decision-making behavior. *J. Dairy Sci.*, v.96, p.4751–4758, 2013.
 48. SAMUELSSON, B.; WAHLBERG, E.; SVENNERSTEN, K. The effect of feeding during milking on milk production and milk flow. *Swed. J. Agric. Res.*, v.23, p.101–106, 1993.
 49. SAPRU, A.; BARBANO, D. M.; YUN, J. J.; KLEI, L. R.; OLTENACU, P. A.; BANDLER, D. K. Cheddar cheese: Influence of milking frequency and stage of lactation on composition and yield. *J. Dairy Sci.*, v.80, p.437–446, 1997.
 50. SARIKAYA, H.; BRUCKMAIER, R. M. Importance of the samples milk fraction for the prediction of total quarter somatic cell count. *J. Dairy Sci.*, v.89, p.4246–4250, 2006.
 51. SARIKAYA, H.; BRUCKMAIER, R. M. Importance of the samples milk fraction for the prediction of total quarter somatic cell count. *J. Dairy Sci.*, v.89, p.4246–4250, 2006.
 52. SCHEWE, R. L.; STUART, D. Diversity in agricultural technology adoption: How are automatic milking systems used and to what end?. *Agric Hum Values*, v.32, p.199–213, 2015.
 53. SCOTI, V. E.; KERRISK, K. L.; THOMSON, P. C.; LYONS, N. A.; GARCIA, S. C. Voluntary cow traffic and behaviour in the premilking yard of a pasture-based automatic milking system with a feed supplementation regime. *Livestock Science*, v.171, p.52–63, 2015.
 54. SPERONI, M.; PIRLO, G.; LOLL, S. Effect of automatic milking systems on milk yield in a hot environment. *J. Dairy Sci.*, v.89, p.4687–4693, 2006.
 55. STEENEVELD, W.; HOGEVEEN, H. Characterization of Dutch dairy farms using sensor systems for cow management. *J. Dairy Sci.*, v.98, p.709–717, 2015.
 56. STEENEVELD, W.; VERNOOIJ, J. C. M.; HOGEVEEN, H. Effect of sensor systems for cow management on milk

- production, somatic cell count, and reproduction. *J. Dairy Sci.*, v.98, p.3896–3905, 2015.
57. STEENEVELD, W.; VERNOOIJ, J. C. M.; HOGEEVEN, H. Effect of sensor systems for cow management on milk production, somatic cell count, and reproduction. *J. Dairy Sci.*, v.98, p.3896–3905, 2015.
 58. SVENNERSTEN, K.; GOREWIT, R.; SJAUNJA, L.-O.; UVNA S-MOBERG, K. Feeding during milking enhances milking related oxytocin secretion and milk production in dairy cows whereas food deprivation decreases it. *Acta Physiol. Scand.*, v.153, p.309–310, 1995.
 59. SVENNERSTEN-SJAUNJA, K. M.; PETERSSON, G. Pros and cons of automatic milking in Europe. *J. Anim. Sci.*, v.86 (1), p.37–46, 2008.
 60. SVENNERSTEN-SJAUNJA, K. M.; PETERSSON, G. Pros and cons of automatic milking in Europe. *J. Anim. Sci.*, v.86 (13), p.37–46, 2008.
 61. SVENNERSTEN-SJAUNJA, K.; BERGLUND, I.; PETERSSON, G. The milking process in an automated milking system, evaluation of milk yield, teat condition and udder health. In: PROC. ROBOTIC MILKING PROC. INT. SYMP., Lelystad, the Netherlands. Wageningen, the Netherlands: Wageningen Pers, p.277–287, 2000.
 62. TRANEL, L.; BENTLEY, J. SCHULTE, K. Making Successful Decisions on Robotic Milking Technology. In: Animal Industry Report, Iowa, EUA, 2012. Disponível em: <http://lib.dr.iastate.edu/cgi/viewcontent.cgi?article=1755&context=ans_air>. Acesso em 15 de setembro de 2015.
 63. TUCKEY, S. L.; STADHOUDERS, J. Increase in sensitivity of organoleptic detection of lipolysis in cows milk by culturing or direct acidification. *Neth. Milk Dairy J.*, v.21, p.158–162, 1967.
 64. WAGNER-STORCH, A. M.; PALMER, R. W. Feeding behavior, milking behavior, and milk yields of cows milked in a parlor versus an automatic milking system. *J. Dairy Sci.*, v.86, p.1494–1502, 2003.
 65. WALKER, J.; WADDY, F.; PERRY, R.; MACGILLIVRAY, L.; ROBERTS, D.; CHRISTIE, J.; WALKER, D.; ANDERSON, D.; MACDONALD, B. New Brunswick Dairy Milking System Comparison Guide. New Brunswick, Canada, 2014. Disponível em: <<http://www.milk2020.ca/en/dwn/GUIDEENG.pdf>>. Acesso em 15 de setembro de 2015.
 66. WAUTERS, E.; MATHIJS, E. Socio-economic implications of automatic milking on dairy farms. European Union, 2004. Disponível em: <https://www.academia.edu/3017560/The_economic_implications_of_automatic_milking_a_simulation_analysis_for_Belgium_Denmark_Germany_and_the_Netherlands>. Acesso em 15 de setembro de 2015.
 67. WIKING, L.; BJORK, L.; NIELSEN, J. H. Influence of feed composition on stability of fat globules during pumping of raw milk. *Int. Dairy J.*, v.13, p.797–803, 2003.
 68. WIKING, L.; NIELSEN, J. H.; BAVIUS, A.-K.; EDVARDSSON, A.; SVENNERSTEN-SJAUNJA, K. Impact of milking frequencies on the level of free fatty acids in the milk, fat globule size, and fatty acid composition. *J. Dairy Sci.*, v.89, p.1004–1009, 2006.
 69. YAGI, Y.; SHIONO, H.; CHIKAYAMA, Y.; OHUNUMA, A.; NAKAMURA, I.; YAYOU, K.-I. Transport stress increases somatic cell counts in milk, and enhances the migration capacity of peripheral blood neutrophils of dairy cows. *J. Vet. Med. Sci.*, v.66, p.381–387, 2004.
 70. ZECCONI, A.; PICCINI, R.; CASIRANI, G.; BINDA, E.; MIGLIORATI, L. Effects of automatic milking system on teat tissues, intramammary infections and somatic cell count. *Ital. J. Anim. Sci.*, v.2, p.275–282, 2003.

Nutrição de precisão na pecuária leiteira



bigstockphoto.com

Thierry Ribeiro Tomich¹ - CRMV-MG S624, Fernanda Samarini Machado² - CRMV-MG, Luiz Gustavo Ribeiro Pereira³ - CRMV-MG S930, Mariana Magalhães Campos⁴ - CRMV-MG

¹ Pesquisador, Embrapa Gado de Leite. Email para contato: thierry.tomich@embrapa.br

² Pesquisadora, Embrapa Gado de Leite.

³ Médico Veterinário e doutorado em Ciência Animal (UFMG); Pesquisador da Embrapa Semi-Árido, Petrolina, PE

⁴ Doutor Zootecnia UFMG - Embrapa Gado de leite

Introdução

A produção de leite é uma atividade complexa cujo sucesso depende da integração dos componentes do sistema produtivo. Considerando que a nutrição do rebanho está associada ao desempenho animal e é o principal componente do custo variável da produção, a adoção de estratégias cientificamente embasadas pode conduzir ao aumento da eficiência em relação ao uso de insumos e ao incremento da produtividade, contribuindo

Como pré-requisito, a prática da nutrição de precisão exige o conhecimento exato das exigências nutricionais das várias categorias de animais ... e a caracterização detalhada do valor nutritivo dos alimentos disponíveis ... permitindo o apropriado balanceamento de dietas, considerando a viabilidade técnica (desempenho), econômica (custo de alimentação) e ambiental (emissão de agentes com potencial poluidor).

para a obtenção de unidade de produto com mais baixo custo e de melhor qualidade sob o aspecto global.

Como pré-requisito, a prática da nutrição de precisão exige o conhecimento exato das exigências nutricionais das várias categorias de animais presentes no rebanho e a caracterização detalhada do valor nutritivo dos alimentos disponíveis para a alimentação desses animais, permitindo o apropriado balanceamento de dietas, considerando a via-

bilidade técnica (desempenho), econômica (custo de alimentação) e ambiental (emissão de agentes com potencial poluidor).

Outro aspecto relevante para a prática da nutrição com precisão está relacionado à crescente disponibilidade e adoção de equipamentos, sensores, dispositivos e sistemas que permitem a coleta e o processamento de dados individuais dos animais em larga escala, de forma que as estratégias de manejo alimentar das unidades de produção de leite possam ser formuladas e adotadas em função de indivíduos e não somente em função das previsões e respostas assinaladas para os lotes de produção.

Exigências nutricionais

Pesquisas relacionadas às exigências nutricionais são necessárias para definição de normas e padrões de alimentação. E diversos países estabeleceram as exigências nutricionais de seus rebanhos bovinos levando em consideração as suas realidades: França em 1978 (L'Institut National de la Recherche Agronomique – INRA, 1978), Inglaterra em 1965 (Agricultural Research Council – ARC, 1965), Reino Unido em 1980 (Agricultural Research Council – ARC, 1980) e 1993 (Agricultural Food and Research Council – AFRC, 1993), e Austrália em 2007 (Commonwealth Scientific and Industrial Research Organization – CSIRO, 2007). O sistema do National Research Council (NRC) dos Estados Unidos da América já passou por várias revisões e atualizações, sendo a última em 2001 para gado de leite, quando novos avanços obtidos em estudos sobre exigências nutricionais dos animais foram incorporados.

A determinação das exigências nutricionais de bovinos no Brasil tem sido alvo da pesquisa desde os anos 1980. No entanto, a

primeira versão da tabela de exigências nutricionais para bovinos de corte foi publicada em 2006 (Valadares Filho *et al.*, 2006b), intitulada Exigências Nutricionais de Zebuínos e Tabelas de Composição de Alimentos – BR-CORTE. Uma segunda edição foi publicada em 2010 (Valadares Filho *et al.*, 2010a), o que representou um avanço importante da pesquisa para a produção de bovinos de corte no país.

Pesquisas de avaliação de sistemas nutricionais (Lanna *et al.*, 1994; Backes, 2003) têm mostrado incompatibilidade quando gerados em condições temperadas e aplicados em condições tropicais. Trabalhos nacionais (Gonçalves, 1988; Borges, 2000; Silva, 2011), envolvendo a quantificação das exigências nutricionais de bovinos leiteiros, são escassos.

Visando estabelecer normas e padrões locais de alimentação para bovinos de leite, em meados dos anos 2000, a equipe liderada pelo professor Norberto Rodríguez instalou o primeiro laboratório de calorimetria animal da América Latina no Departamento de Zootecnia da Escola de Veterinária da Universidade Federal de Minas Gerais (UFMG), em Belo Horizonte, Minas Gerais. Também para dar suporte às pesquisas na mesma linha, desde o ano de 2012 entraram em funcionamento as câmaras respirométricas do laboratório de bioenergética no Complexo Multiusuário de Bioeficiência e Sustentabilidade da Pecuária, na Embrapa em Coronel Pacheco, Minas Gerais. Nesses laboratórios estão sendo gerados dados nacionais sobre exigência nutricional das diferentes categorias de bovinos de leite das várias composições genéticas presentes no país.

A opção atual ainda é a formulação de dietas para bovinos leiteiros com base nas exigências nutricionais estabelecidas em outros países. Dessa forma, o técnico nutricionista

e o produtor devem estar conscientes de que as diferenças dos sistemas de alimentação gerados em condições temperadas podem comprometer a precisão da nutrição quando esses sistemas são utilizados para embasar formulações de dietas para animais mantidos em condições tropicais.

Valor nutritivo dos alimentos

Os parâmetros de valor nutritivo dos alimentos utilizados para balanceamento de dietas são definidos com base em análises de composição química e por modelos matemáticos gerados em estudos de metabolismo. Segundo Sniffen e Chalupa (2015), a composição de nutrientes nas dietas pode mudar em função de alterações na composição de nutrientes dos ingredientes ou por mudanças na formulação (ingredientes e proporções). A composição do ingrediente pode mudar inconscientemente (como uma partida de silagem fornecida contendo contaminação com plantas daninhas), mas há situações em que se pode esperar que ocorram mudanças de composição em determinados ingredientes (como uma nova partida de feno). Desse modo, a composição de nutrientes nos alimentos não é constante e, com foco na precisão, amostras devem ser colhidas e analisadas repetidamente.

Embora o surgimento de novos equipamentos analíticos e prestadores de serviços tenha conferido agilidade na condução das análises dos alimentos, para a grande maioria das fazendas, não é prática usual. Em regra, o uso de valores tabelados de composição/valor nutritivo de alimentos é a opção prática e a estratégia largamente empregada para a composição de dietas balanceadas. Nesse caso, destaca-se que a composição química dos

alimentos produzidos em uma determinada região é influenciada por fatores inerentes ao cultivo, variedades, clima (temperatura e umidade), condições de solo, adubação, processamento e armazenamento.

No Brasil, trabalhos orientados pelo professor Sebastião de Campos Valadares Filho, do Departamento de Zootecnia da Universidade Federal de Viçosa, possibilitaram a compilação de dados sobre a composição química de alimentos para bovinos obtidos no país e a publicação das Tabelas Brasileiras de Composição de Alimentos para Bovinos – CQBAL (Valadares Filho *et al.*; 2002, 2006a e 2010b). Com o objetivo de disponibilizar na internet o conteúdo cadastrado, foi desenvolvido o *software* CQBAL 3.0 <<http://cqbal.agropecuaria.ws/webcqbal/index.php>>, que atualmente apresenta valores tabelados para 2.090 derivados de alimentos e 298 nutrientes obtidos de 2.610 referências nacionais. Com esse *software*, o usuário pode gerar relatórios de composição de nutrientes e valor energético, selecionando o alimento, o derivado, entre outras opções, para receber um relatório personalizado mais acurado, gerado a partir das informações cadastradas (Valadares Filho *et al.*, 2015).

Ainda, as diferenças marcantes entre regiões do país, especialmente as climáticas e aquelas associadas aos sistemas de produção típicos de cada local, têm motivado a organização de tabelas regionais. Essas tabelas apresentam a composição de alimentos endêmicos da região e de alimentos encontrados em todo o país, mas cujos processos de produção e armazenagem ou uso e análise ocorreram naquela região focalizada. Como exemplos, existem as Tabelas Nordestinas de Composição de Alimentos para Bovinos Leiteiros (Neves *et al.*, 2014) e a possibilidade de “busca avançada” no CQBAL 3.0, onde está disponível a composição dos alimentos por região ou estado.

O valor nutritivo dos alimentos depende das transformações mecânicas e químicas que ocorrem no trato digestivo e, assim, há necessidade de considerar características do animal que o consome, como a dinâmica digestiva, incluindo o consumo e sua repercussão na taxa de passagem, e aquelas próprias do alimento, incluindo o tipo de processamento, para definição da fração do nutriente realmente disponível para utilização pelo animal. Com essa perspectiva, no NRC (2001) foi apresentada a correção do valor de nutrientes digestíveis totais (NDT) baseada no nível de consumo e no tipo de processamento sofrido pelo alimento. Contudo, estudos conduzidos no Brasil (Rocha Júnior *et al.*, 2003; Costa *et al.*, 2005; Pina *et al.*, 2006) apontaram a perda de eficiência dos modelos descritos no NRC (2001) para predição do valor energético de alimentos em condições tropicais.

Diversos estudos foram conduzidos para desenvolvimento e validação de submodelos para predição das frações digestíveis dos componentes nutritivos de alimentos obtidos em condições tropicais (Detmann *et al.*, 2004; 2006a; 2006b; 2006c; 2008). O uso de submodelos gerados no país de forma associada mostrou-se mais preciso para predição do teor de NDT dos alimentos e dietas em relação à aplicação do que foi descrito no NRC (2001) (Detmann *et al.*, 2008; Azevêdo *et al.*, 2011; Magalhães *et al.*, 2010). Dessa forma, a precisão na nutrição de gado leiteiro no Brasil exige o uso criterioso das informações sobre o valor nutritivo dos alimentos utilizados para alimentação dos animais, incorporando o

conhecimento, a experiência e a capacidade crítica dos técnicos nutricionistas para minimizar as distorções entre o valor nutritivo da dieta formulada daquela que é consumida pelos animais.

Aplicação da nutrição de precisão

Existem dois sistemas de alimentação predominantes em fazendas leiteiras: no primeiro os animais têm acesso ilimitado aos volumosos, e as suplementações de concentrado, mineral e vitaminas ocorrem de forma individual; no segundo os animais são alimentados com uma única mistura contendo todos

os alimentos fornecidos (mistura ou dieta total). No primeiro sistema, a suplementação é baseada nas exigências nutricionais de cada animal e, no segundo, as vacas são agrupadas em lotes determinados com base nessas exigências, que são definidas na prática em função da ordem de parição, da produção de leite, período da lactação e do escore de condição corporal.

As suplementações individuais específicas no primeiro sistema e a formação de lotes recebendo dietas customizadas no segundo visam sempre aproximar a composição da dieta ao perfil de nutrientes requeridos pelos animais. Em qualquer sistema de alimentação, a coleta detalhada de dados sobre animais e alimentos e a transformação desses dados em informações que possam nortear estratégias de manejo alimentar com ajuste fino é a base para a prática da nutrição de precisão.

O valor nutritivo dos alimentos depende das transformações mecânicas e químicas que ocorrem no trato digestivo ... as características do animal que o consome ... a dinâmica digestiva, incluindo o consumo e sua repercussão na taxa de passagem, e aquelas próprias do alimento, incluindo o tipo de processamento, para definição da fração do nutriente...

A variabilidade no teor de nutrientes da ração afeta o desempenho dos animais. Os atuais modelos de exigência de *software* de cálculo de dietas não consideram os fatores associados ao manejo dos alimentos na formulação e predizem as exigências para a média das vacas, sem considerar a variabilidade existente nos lotes de alimentação. Além disso, os valores de nutrientes dos alimentos contidos nas bibliotecas usadas nesses programas também afetam o teor de nutrientes das rações, uma vez que os valores tabelados podem não ser representativos da composição do alimento utilizado (Rossow e Aly, 2013). Assim, considerando que os nutrientes da formulação **não** são exatamente os mesmos da dieta consumida e que os modelos de exigências não são totalmente precisos, há pontos no fluxo do processo de alimentação dos animais que podem ser associados às falhas de precisão na nutrição (Fig. 1).

Tendo consciência das possíveis diferenças existentes entre a dieta formulada para

dieta misturada, para a dieta fornecida e para a consumida pelos animais, o primeiro passo para melhorar a precisão da nutrição é aproximar ao máximo o valor nutritivo utilizado na formulação ao valor nutritivo real do alimento que comporá a dieta fornecida. Nesse caso, sempre que viável, é recomendado substituir o uso de dados tabelados por dados gerados em análises de amostras dos alimentos realmente utilizados. No Brasil, há vários laboratórios públicos (vinculados a universidades e instituições de pesquisa) e privados que conduzem essas análises como prestação de serviço. Um fator que geralmente dificulta essa prática é a frequente morosidade para condução das análises com consequente atraso para acesso aos resultados em relação ao prazo requerido para o uso do insumo.

Atualmente, **há laboratórios** no país que têm garantido prazos específicos para entrega de resultados sobre o valor nutritivo de alimentos em função da complexidade para execução da análise solicitada. Por exemplo,

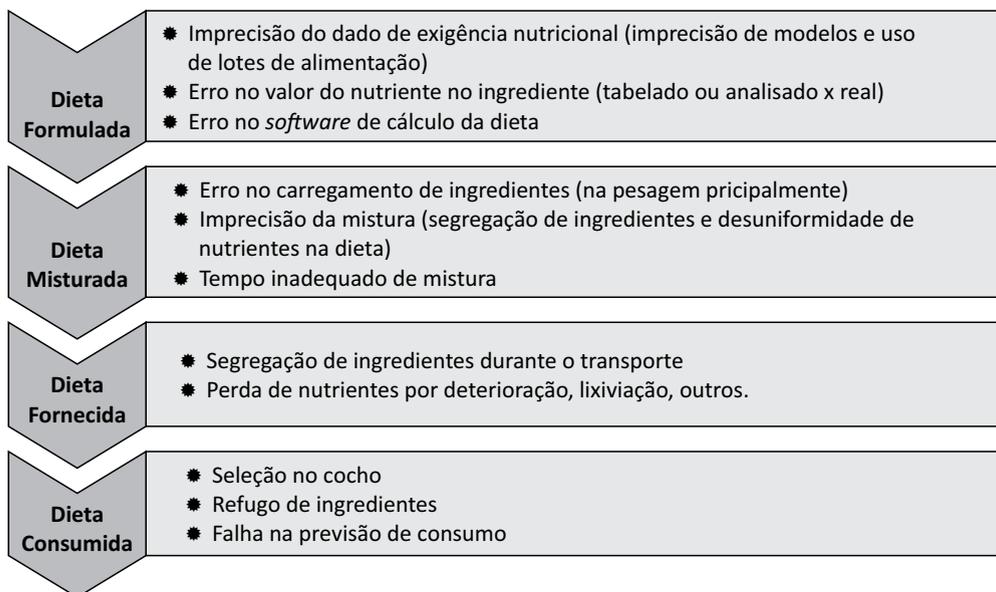


Figura 1. Fluxo do processo de alimentação e exemplos que podem determinar falha na precisão para atendimento das exigências nutricionais.

análises feitas empregando métodos químicos ou biológicos (via úmida) para a determinação da composição de alimentos ou dietas e estimativas de valor energético podem exigir prazos para liberação de resultados superiores a 10 dias. Já a utilização da técnica de Espectroscopia de Infravermelho Próximo (Near Infrared Reflectance Spectroscopy – NIRS), para determinação dos mesmos parâmetros, pode requerer prazos para execução

tão curtos quanto o de um dia útil após o recebimento da amostra pelo laboratório. Independentemente, a noção desse prazo possibilita o planejamento da alimentação na propriedade considerando o emprego da condução de análises nos alimentos para basear a formulação das dietas.

Estudos conduzidos em décadas passadas (Norris *et al.*, 1976; Marten *et al.*, 1983; Corson *et al.*, 1999) já constataram a aptidão da técnica NIRS para descrever acuradamente a composição e o valor energético de alimentos para ruminantes. Segundo Stuth *et al.* (2003), o aumento da capacidade de processamento e a disseminação do uso de computadores pessoais associado ao desenvolvimento de procedimentos estatísticos multivariados no campo da quimiometria resultaram no aumento da utilização da técnica NIRS para determinação de valor nutritivo.

As vantagens do uso da técnica NIRS frente às análises que empregam procedimentos químicos e biológicos incluem não requerer reagentes nem gerar resíduos com potencial poluente, não destruir a amostra e possibilitar várias análises numa mesma amostra, gerar

As vantagens do uso da técnica NIRS frente às análises que empregam procedimentos químicos e biológicos incluem não requerer reagentes nem gerar resíduos com potencial poluente, não destruir a amostra e possibilitar várias análises numa mesma amostra, gerar múltiplos dados analíticos em procedimento único, demandar menos trabalho e tempo para processamento da amostra e para execução da análise.

múltiplos dados analíticos em procedimento único, demandar menos trabalho e tempo para processamento da amostra e para execução da análise. Dessa forma, permite amostragem em larga escala e agilidade para geração de resultados. Essas duas características levaram ao recente desenvolvimento de sistemas portáteis para avaliação de valor nutritivo de alimentos para gado leiteiro em tempo real, ou próximo ao momento de utilização

do alimento ou dieta. Análises em tempo real são particularmente importantes para forragens verdes e silagens, devido à interferência do estágio de desenvolvimento das plantas e do tempo de estocagem sobre o valor nutritivo desses volumosos, respectivamente.

Os sistemas que empregam analisador NIRS portáteis na propriedade podem requerer a amostragem dos alimentos como atividade exclusiva ou processar a análise dos alimentos de forma automatizada em pontos específicos da linha de produção da ração. Nesse caso, o analisador NIRS pode ser instalado diretamente na pá carregadeira, na esteira de transporte, no vagão misturador, etc. (Fig. 2), escaneando os alimentos **à medida que são** manejados para confecção da ração, gerando automaticamente os dados sobre os teores de MS e de nutrientes. O ganho na precisão da nutrição ocorre por possibilitar recalcular o peso dos ingredientes que serão inseridos na ração sempre que houver discrepância entre o dado utilizado para a formulação daquele encontrado na análise feita em tempo real, aproximando, dessa forma, a composição formulada daquela ofertada no cocho.

Arranjos e métodos que incorporam a análise do alimento na propriedade em tempo real têm sido propostos como estratégia de manejo de animais e de alimentos para aumentar a precisão da nutrição, reduzir custos, aumentar a produção e a qualidade do leite e favorecer a automação dos processos envolvidos com a alimentação dos animais (Fig. 3).

Quanto à formulação de dietas para o atendimento mais acurado das exigências nutricionais, trabalho conduzido por White e Capper (2014), modelando o aumento da frequência de formulação (trimestral, mensal ou semanal) em diferentes condições climáticas, mostrou que a reformulação foi capaz de influenciar positivamente o consumo de energia e de nutrientes, o consumo de matéria seca (CMS), o balanço de energia metabolizável e a produção de leite. Esses autores consideraram que a reformulação mais frequente possibilitou aumento no CMS em períodos de balanço energético negativo; verificaram que o balanceamento semanal das dietas possibilitou aumento na produção individual de leite de 0,59kg/d em relação à estratégia de balanceamento trimestral (Tab. 1); como esse aumento foi consistentemente mantido nas várias condições climáticas ava-

liadas, a precisão na alimentação conferida pela maior frequência no balanceamento das dietas pode representar uma estratégia adequada para manutenção da produção de leite em distintas situações de clima.

Para a etapa de mistura da dieta, falhas em equipamentos de pesagem para medir acuradamente a quantidade do ingrediente representa um problema adicional que pode afastar a composição de nutrientes da formulação daquela apresentada na dieta fornecida aos animais. Aferição e calibração periódica dos equipamentos de pesagem são recomendadas e devem ser efetuadas de acordo com a periodicidade estabelecida pelo fabricante. Ainda nessa etapa, cuidados adicionais com misturadores devem ser observados. Misturadores com sistema de rocas horizontais, de rotor ou por tombamento são comuns no Brasil e cada um apresenta características, capacidades operacionais e necessidades singulares de regulagem e manutenção para se produzir uma ração com mistura homogênea.

Cada ingrediente apresenta características próprias capazes de interferir na homogeneidade da ração (tamanho de partícula, densidade e capacidade para reter umidade). Assim, entre as orientações para obter dietas com mistura uniforme inclui a ordenação de



Figura 2. Analisador NIRS acoplado a equipamentos de manejo de alimentos.

Fonte: Dinamica Generale S.p.A. <http://www.dinamicagenerale.com/dg_precision_feeding>.

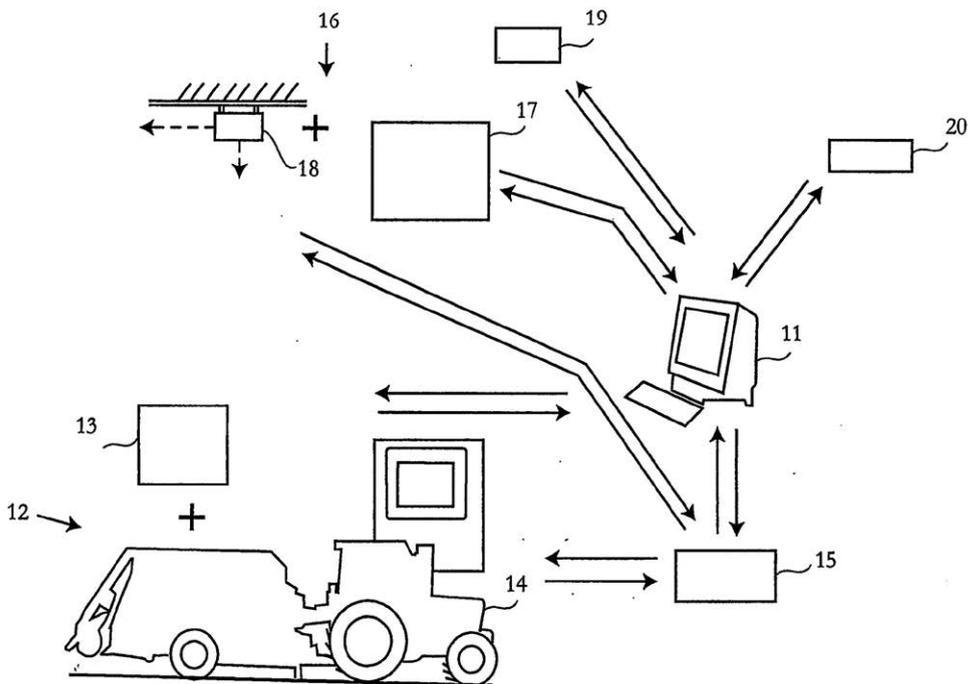


Figura 3. Proposta de arranjos e métodos para manejo da alimentação de animais considerando a análise dos alimentos em tempo real na propriedade. O primeiro arranjo (12) representa um sistema de distribuição convencional de dietas, constituído por (11) dispositivo computadorizado para manejo e controle de vacas, capaz de monitorar dados de ordenha, alimentação, inspeção e amostragem do leite e tráfego de vacas na propriedade; (13) equipamento para análise de alimentos na propriedade (preferencialmente NIRS); (14) veículo para distribuição de dietas e (15) módulo de manejo de alimentos (calcula a quantidade de dieta que deve ser fornecida antes de cada alimentação, baseando-se no monitoramento atualizado dos dados de produção de leite e de consumo da ração de cada vaca, considerando os dados das análises dos alimentos obtidos antes da mistura). O segundo arranjo (16) representa um sistema de fornecimento automático de dietas, constituído por (17) equipamento de análise de alimentos na propriedade (NIRS); (18) equipamento automatizado para distribuição de dietas; (15) módulo de manejo de alimentos; (11) dispositivo computadorizado para manejo e controle de vacas; (19) balança ou equipamento óptico (com capacidade de processamento de imagem) para gerar dados individuais de sobras (ou consumo) e (20) representa aparatos capazes de fazer análises do leite (composição), da condição das vacas (sensores de movimento, balança para os animais, etc.) e/ou análises de dejetos (indicação de funcionamento do rúmen e digestibilidade da dieta).

Fonte: Mazeris (2007) <<http://www.uspto.gov/web/patents/patog/week30/OG/html/1416-4/US09091644-20150728.html>>.

carregamento do misturador, sendo indicado inserir primeiro os ingredientes com maior tamanho de partícula, como as forragens, seguidos por aqueles com menor tamanho de partícula. O uso de forragem úmida ou de

subprodutos úmidos e de ingredientes líquidos podem favorecer uma mistura uniforme e dificultar a segregação de ingredientes durante o transporte ou pela seleção no cocho. Recomenda-se ainda que ingredientes incluí-

Tabela 1. Energia metabolizável (EM) e proteína metabolizável (PM) na dieta, consumo de matéria seca (CMS), produção de leite e balanço de energia metabolizável em diferentes frequências de balanceamento de dietas para vacas em lactação

Frequência de balanceamento	EM (Mcal/d)	PM (g/d)	CMS (kg/d)	Produção de leite (kg/d)	Balanço EM (Mcal/d)
Trimestral	56,7	2,459	20,63	35,93	- 0,24
Mensal	56,8	2,461	20,70	35,91	- 0,19
Semanal	56,6	2,454	20,73	36,52	- 0,07

Fonte: White e Capper (2014).

dos em quantidades pequenas em relação ao total da ração, como os núcleos minerais e aditivos, sejam primeiramente misturados com outro ingrediente isoladamente antes de serem inseridos na mistura total, de forma a permitir a distribuição uniforme em toda a ração. O tempo ótimo de mistura também deve ser considerado para que a apresentação da ração tenha mínima variação em ingredientes e nutrientes, dificultando a possibilidade de seleção em rações que não apresentam composição homogênea devido ao reduzido tempo de mistura, ou pela mistura excessiva capaz de produzir a segregação de partículas pelas diferenças em densidade.

O aumento na frequência de fornecimento dos alimentos para vacas leiteiras geralmente aumenta a produção de leite e minimiza a ocorrência de problemas de saúde, principalmente devido à manutenção de condições mais estáveis no rúmen. Assim, fracionar o fornecimento da ração e aumentar o número de tratos diários pode favorecer a digestibilidade da dieta, o consumo e a precisão no atendimento das exigências nutricionais das vacas. Além disso, manter alimentos recém-misturados no cocho pode reduzir as

perdas de nutrientes por espoliação, deterioração ou lixiviação – ocorrências que são comumente dependentes das condições climáticas associadas à variável temporal.

Conforme relatado no NRC (2001), vacas produzindo de 23-44kg de leite/d e recebendo ração na forma de mistura total à vontade acessam o cocho 11 vezes ao dia e se alimentam durante cinco horas diárias. De acordo com Borges *et al.* (2009), variações na rotina de frequência do fornecimento e na quantidade diária de alimentos fornecidos podem alterar o consumo devido às flutuações do pH ruminal, dos níveis sanguíneos de ácidos graxos não esterificados e dos níveis hormonais, sendo indicado o fornecimento de alimentos à vontade.

Conforme Hutjens (2011), considera-se adequado entre 5% e 10% de sobras do alimento fornecido para o gado leiteiro, mas deve-se progredir para sobras

entre 2% e 5%, condição atualmente verificada em sistemas bem manejados.

Com foco na nutrição de precisão, aferições quantitativa e qualitativa de consumo devem ser permanentes. Nesse caso, a leitura de cocho fornece uma informação

O aumento na frequência de fornecimento dos alimentos para vacas leiteiras geralmente aumenta a produção de leite e minimiza a ocorrência de problemas de saúde, principalmente devido à manutenção de condições mais estáveis no rúmen.

que é rotineiramente empregada nas fazendas para avaliar o consumo e definir estratégias de manejo alimentar. A quantificação e qualificação das sobras associadas aos dados de fornecimento de alimentos e nutrientes permitem ganhos de precisão na informação sobre a estimativa do consumo de nutrientes, mas a acurácia dessa informação é comprometida quando são considerados os dados de lotes de alimentação e não os de animais individualmente.

Adicionalmente, como regra, o manejo alimentar nas fazendas leiteiras é definido em função de lotes de produção, e o balanceamento das rações é geralmente delineado para atender os animais mais exigentes do lote, visando reduzir perdas produtivas. Mesmo trabalhando com lotes homogêneos em termos de exigências nutricionais, os animais mais exigentes representam cerca de 20%-30% do total e sempre haverá situações de sobre alimentação ou subalimentação para a maioria dos animais do lote.

Como alternativa ao excessivo uso de mão de obra para gerar dados individualizados, sistemas automatizados para monitoramento de ingestão de alimentos e de comportamento de consumo têm sido desenvolvidos e validados para gado bovino (DeVries *et al.*, 2003; Chapinal *et al.*, 2007; Chizzotti *et al.*, 2015). Esses sistemas apresentam variações entre si, mas contam com cochos de alimentação associados a medidores de massa, mecanismos que permitem o registro individual de acesso e/ou a restrição de acesso aos cochos e dispositivos e *software* para coleta, processamento e apresentação dos dados. Possibilitam a geração de dados sobre horário de tratos e quantidade fornecida de alimento, taxa de ocupação dos cochos ao longo do dia, dados individualizados de consumo diário de alimento, consumo em cada visita ao cocho, taxa de consumo (Fig. 4), tempo de permanência

no cocho com e sem consumo e possibilitam o monitoramento das sobras.

Estudos de validação feitos por DeVries *et al.* (2003) e Chizzotti *et al.* (2015) mostraram a acurácia desses sistemas para quantificar o consumo individual diário, com possibilidade de uso dessa informação para aproximar o perfil de nutrientes utilizados na formulação das dietas daquele que realmente é consumido pelos animais, aumentando a precisão da alimentação para atendimento das exigências nutricionais. Outra possibilidade potencial de uso de dados gerados por esses sistemas está em estabelecer de forma exata as melhores frequências e períodos indicados para realização dos tratos. A transformação dos dados gerados por esses sistemas em informações que repercutam em aumento na precisão da nutrição ainda é um desafio para pesquisa em nutrição de gado leiteiro.

Para Sniffen e Chalupa (2015), uma das estratégias para aumentar a eficiência com a alimentação e poupar nutrientes utilizados para a produção de leite é aumentar o número dos lotes de alimentação para uniformizá-los e favorecer a gestão dos nutrientes. Essa alternativa adiciona desafios relativos ao aumento de custos com trabalho para alimentação, à crescente necessidade de adaptação dos animais aos lotes e às alterações nas dietas. Esses autores também consideraram que o uso de sistemas robóticos de alimentação pode proporcionar o refinamento das rações para atender de forma mais precisa às exigências nutricionais.

Os sistemas robóticos ou automatizados de alimentação mais completos possibilitam o controle digital de todas as atividades de alimentação após o carregamento de ingredientes em silos (alimentos concentrados), mesas forrageiras (deposição de forragens) e recipientes para armazenagem de aditivos e núcleos minerais/vitamínicos, fazendo o trans-

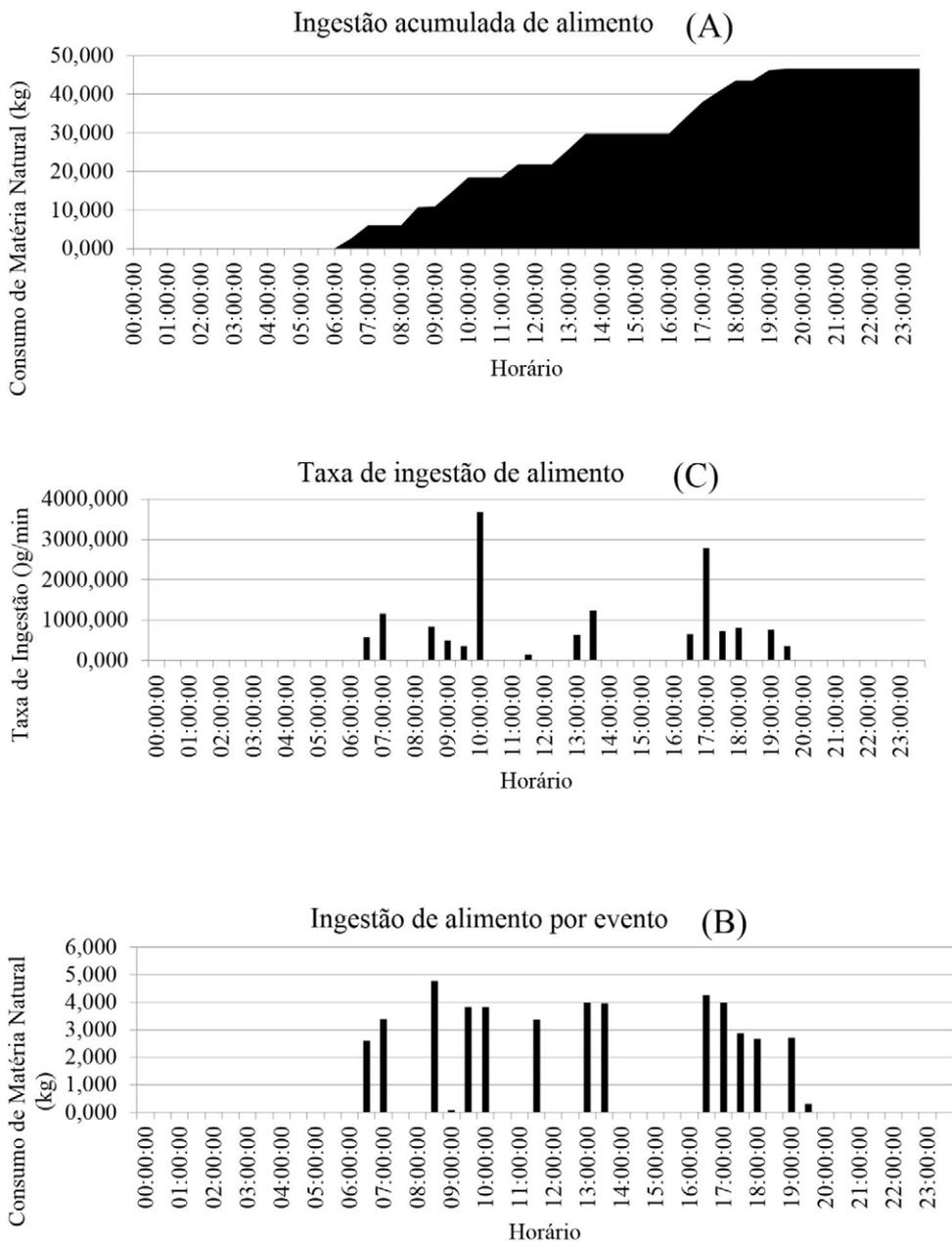


Figura 4. Dados diários individuais de (A) ingestão acumulada de alimento, (B) ingestão de alimento por evento e (C) taxa de ingestão gerados por sistema automatizado de monitoramento de ingestão de alimentos e de comportamento de consumo por gado bovino.

Fonte: Sistema INTERGADO <www.intergado.com.br>

porte, a pesagem e a mistura de ingredientes e o transporte e a distribuição da ração como processos mecanizados (Fig. 5).

Desenvolvidos para funcionar durante 24 horas, trabalhar com inúmeros ingredientes e processar diariamente diferentes tipos de ração, esses sistemas possibilitam a programação de horários para mistura e fornecimento, reduzindo o tempo de ocupação da mão de obra para alimentação do rebanho, colaborando para a precisão da nutrição por favorecer a ampliação do número de lotes de alimentação (lotes mais homogêneos alimentados com dietas customizadas) e/ou de tratos diários (otimizar consumo, reduzir perdas no cocho e favorecer o aproveitamento de nutrientes).

A associação de sistemas automatizados para monitoramento de ingestão de alimentos com os sistemas robóticos de alimenta-

ção favorece a formação de lotes de manejo com padronização otimizada dos animais e, até mesmo, a individualização da coleta dos dados e a formulação das estratégias para manejo nutricional por indivíduo. Pesquisas associando esses sistemas estão sendo iniciadas no Complexo Multiusuário de Bioeficiência e Sustentabilidade da Pecuária instalado na Embrapa Gado de Leite em Coronel Pacheco, Minas Gerais, o que possibilitará avaliar os impactos sobre a precisão da nutrição em condições nacionais.

A individualização da coleta de dados relacionados à nutrição com a respectiva possibilidade de formulação de estratégias mais precisas para alimentação dos animais também tem sido favorecida pela crescente disponibilidade de sensores, dispositivos e sistemas para as fazendas leiteiras.

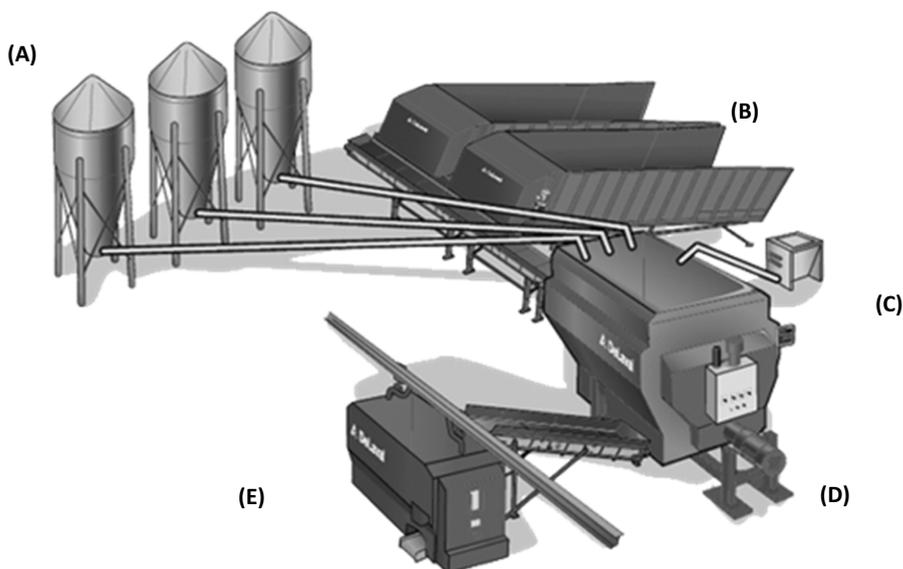


Figura 5. Sistema automatizado de alimentação de gado leiteiro, composto por (A) silos para concentrados, (B) compartimentos para deposição de forragens, (C) recipiente para armazenagem de aditivos, minerais ou núcleos vitamínicos, (D) misturador e (E) vagão para distribuição de ração. Fonte: DeLaval Corporate <<http://www.delaval.com.br/-/Produtos--Solucoes/Nutricao/Solucoes/>>

[Sistemas-de-Alimentacao-DeLaval/Optimat--Sistema-de-Alimentacao-Automatica/>](#)

Estudo conduzido por Borchers e Bewley (2015) para identificar o uso e a percepção de tecnologias de precisão para produção de leite apontou que as tecnologias que monitoram a produção de leite, o desempenho reprodutivo e a saúde do úbere apresentaram mais ampla adoção. Tecnologias capazes de monitorar e gerar dados que podem ser utilizados para definição de estratégias mais precisas para alimentação do rebanho, como a produção diária de leite, componentes do leite (gordura, proteína, etc.), comportamento alimentar, temperatura corporal, peso corporal, ruminação, escore de condição corporal, emissão de metano e pH do rúmen, apresentaram adoções de 52,3%, 24,8%, 12,8%, 12,8%, 11,0%, 10,1%, 2,8%, 1,8% e 0,9%, respectivamente.

Sensores, dispositivos e sistemas que geram dados de produção e composição de leite, peso e escore de condição corporal podem ser utilizados para embasar informação individual sobre a exigência por nutrientes, nortear estratégia para a designação dos animais com exigências similares para lotes de alimentação específicos e para a customização das dietas com ajuste fino. Com foco na nutrição, os sensores de ruminação e de pH do rúmen geram dados indicativos do funcionamento dos processos digestivos associados à dieta consumida e, juntamente com os dados gerados por sensores de comportamento alimentar, possibilitam avaliações e ajustes da formulação e da estratégia de fornecimento da dieta na busca do exato atendimento das exigências nutricionais de lotes ou animais. Exemplo de uso integrado desse tipo de tecnologia de precisão em sistemas de alimentação para gado leiteiro pode ser verificado no enunciado da Figura 3, apresentada anteriormente, que descreve uma proposta de arranjos e métodos para alimentação dos animais.

Impactos potenciais da nutrição de precisão

A ênfase das estratégias usadas para formulação de dietas tem sido conferida à maximização da produção animal e do retorno econômico, e não à minimização da excreção de nutrientes ou emissão de gases poluidores. Assim, o uso das informações sobre exigências nutricionais e valor nutritivo dos alimentos para formulação de dietas tem rotineiramente privilegiado a dimensão econômica, consistindo-se, geralmente, em uma estratégia eficaz para amparar a viabilidade econômica dos sistemas de produção.

Embora a viabilidade econômica de longo prazo seja um dos pilares para a sustentabilidade dos sistemas de produção, a incorporação da dimensão ambiental para o balanço global da sustentabilidade é condição essencial, sendo crescente a pressão sobre produtores de leite e técnicos nutricionistas para fornecer soluções práticas que resultem em redução no desperdício de nutrientes com potencial poluidor, especialmente nitrogênio (N) e fósforo (P), e emissão de gases de efeito estufa (GEE), sobretudo o metano (CH₄).

Conforme Branco e Osmani (2010), o balanço de massa de nutrientes tem sido adotado com frequência cada vez maior em sistemas de produção animal e agrícola. É uma estimativa que usa os registros e dados da propriedade, contabilizando os nutrientes importados ao sistema por meio da fixação de N (estimada), de fertilizantes, de alimentos e animais, e os exportados do sistema, como venda de produtos (leite, carne), animais, grãos e dejetos. A diferença entre a importação e a exportação representa o balanço de massa. De posse dessas informações, produtores e técnicos podem adotar medidas que visem reduzir as emissões e fontes de contaminação ambiental. Estudo conduzido por

Cela *et al.* (2014), abordando o balanço de N e P em fazendas leiteiras no estado americano de Nova York, apontou que o saldo positivo no balanço anual de N pode chegar até 259kg/ha e o de P até 51kg/ha, sendo que esses autores consideraram que a principal contribuição para esse balanço positivo deriva da importação de nutrientes para a propriedade, especialmente pela compra de alimentos. Os mesmos autores também apontaram a implementação da precisão na alimentação como uma das estratégias viáveis para reduzir esse balanço.

Resultados de experimento clássico com vacas leiteiras, conduzido por Colmenero e Broderick (2006), indicaram que dietas com 16,5% de proteína bruta (PB) são capazes de suportar máximas produções de leite com mínima excreção de N para o meio ambiente em comparação às dietas com mais altas concentrações proteicas. Verificou-se nesse estudo que aumentos de 13,5% para até 19,4% de PB na dieta resultaram em aumentos lineares no

consumo de PB, no teor de nitrogênio ureico no leite (NUL) e nas excreções de N para o meio ambiente, sem que a elevação no teor proteico da dieta tenha resultado em variações significativas no ganho de peso dos animais, na produção de leite ou nos teores de gordura, proteína verdadeira e lactose do leite (Tab. 2).

De acordo com Sniffen e Chalupa (2015), o consumo excessivo de proteína, N urinário e NUL são altamente correlacionados e, embora não se faça monitoramento periódico do N excretado na urina ou no esterco, o NUL tem sido rotineiramente monitorado. O excesso de N nas dietas tem sido frequente, tendo sido observado por anos o padrão para alimentação de vacas de alta produção com dietas contendo 17%-18% de PB. Nesse caso, buscava-se NUL entre 14 e 18mg/dL. Porém, sabe-se que grupos de vacas de alta produção podem ser eficientemente alimentados com dieta

Tabela 2. Efeito do teor de proteína bruta na dieta sobre o consumo proteico, excreção de N para o meio ambiente, peso corporal, produção e composição do leite

Item	Proteína bruta na dieta (% da MS)				
	13,5	15,0	16,5	17,9	19,4
Consumo de proteína bruta kg/d	3,02	3,32	3,78	4,00	4,44
Excreção urinária de N g/d	113	140	180	213	257
Excreção fecal de N g/d	196	176	196	197	210
Alteração de peso vivo kg/d	0,49	0,46	0,70	0,55	0,64
Produção de leite kg/d	36,3	37,2	38,3	36,6	37,0
Composição de leite %					
Gordura %	3,14	3,27	3,27	3,47	3,44
Proteína verdadeira %	3,09	3,15	3,09	3,18	3,16
N ureico mg/dL	7,7	8,5	11,2	13,0	15,6
Lactose %	4,91	4,89	4,94	4,91	4,92

Fonte: Colmenero e Broderick (2006).

contendo de 14%-15% de PB, buscando conseguir valores de NUL próximos a 10mg/dL.

Além do teor proteico, a composição da dieta pode afetar a amplitude da excreção de N para o meio ambiente. Nesse caso, devem ser consideradas as necessidades de sincronização das taxas de liberação de energia e de N no rúmen e de quantidades não limitantes de aminoácidos essenciais na fração de proteína metabolizável da dieta. Revisão feita por Oldham *et al.* (1984) sobre a inter-relação entre proteína e energia da dieta de vacas leiteiras apontou que a forma de energia afeta a utilização da proteína e do amido, possibilitando, muitas vezes, reduzir o uso de proteína na dieta. Diversos estudos (Herrera-Saldana *et al.*, 1990; Klover *et al.*, 1998; Casper *et al.*, 1999) mostraram que a sincronização no suprimento de N e de energia em substratos para síntese proteica microbiana no rúmen pode maximizar a utilização do N disponível no rúmen, a eficiência da síntese proteica microbiana e o fluxo de proteína microbiana para o duodeno, resultando em efeito poupador para a proteína dietética, possibilitando a redução na excreção de N.

Embora se saiba que as deficiências em lisina e metionina na proteína metabolizável possam promover redução na síntese de proteína do leite, não há consenso quanto à resposta produtiva quando esses aminoácidos são fornecidos como proteína protegida ou diretamente no abomaso (Robinson *et al.*, 1995; Robinson *et al.*, 2000; Robinson, 2010). Fatores relacionados à dieta e à partição de nutrientes e à sua destinação para a glândula mamária (produção de leite, estágio da lactação e balanço energético) interferem e dificultam prever a resposta produtiva em função dessa suplementação. Contudo, para que o catabolismo dos aminoácidos não essenciais em excesso na dieta e a consequente excreção de N para o ambiente sejam mini-

mizados, os aminoácidos essenciais devem estar presentes em quantidades suficientes para não limitar a síntese proteica pelo ruminante. Dessa forma, alimentar para atender às exigências específicas em aminoácidos representa um desafio para a pesquisa que colabora para reduções de PB na dieta e de excreção de N para o ambiente.

É largamente reconhecida a importância do consumo de quantidades adequadas de P para a manutenção dos processos fisiológicos e de produção em bovinos. Mas, conforme Knowlton (2011), o gado utiliza o P de forma ineficiente, excretando de 60%-80% do total consumido, fazendo com que a maior parte do P utilizado na fazenda fique na fazenda, em vez de ser exportado na carne ou no leite, e, de acordo com Morse *et al.* (1992), o P tem sido frequentemente fornecido em excesso às exigências das vacas de leite, sem, contudo, saber se essa estratégia traz benefícios ou prejuízos para a saúde ou produção. Esses autores observaram aumento linear na excreção com o aumento no consumo de P (0,30%, 0,41% ou 0,56% da MS na dieta) e verificaram que as fezes são a principal rota para excreção desse mineral. Observaram ainda que vacas com consumo restrito a 20kg de MS/d, consumindo 0,30% de P na MS da dieta, apresentaram excreção de P 22,7% inferior ao de vacas alimentadas com a mesma restrição de consumo e 0,56% de P na MS da dieta. Esses resultados mostraram que a redução na sub-realimentação com P pode ser uma estratégia importante para reduzir excreção de P em dejetos de vacas de leite.

O uso excessivo de P em dietas de vacas de leite tem sido justificado principalmente devido ao conceito de que dietas com altas concentrações de P são capazes de melhorar o desempenho reprodutivo. Todavia, estudo conduzido por Satter e Wu (1999), sumariando resultados de desempenho repro-

ditivos de vacas em lactação, obtidos de 13 experimentos e 393 dados, não verificaram diferenças significativas nos índices reprodutivos para os animais que receberam dietas com mais alto teor de P (Tab. 3). Outros estudos (Wu e Satter, 2000; Wu *et al.*, 2000) também não apontaram comprometimento no desempenho reprodutivo quando as vacas foram alimentadas abaixo do recomendado no NRC (2001). Além disso, experimentos de longa duração (Kuipers *et al.*, 1999; Wu e Satter, 2000; Wu *et al.*, 2000) não apontaram diferenças nas produções de leite quando as vacas foram alimentadas com quantidades de P ligeiramente inferiores às exigências preconizadas no NRC (2001). Ainda Cerosaletti *et al.* (2004), avaliando modificações nas dietas de dois rebanhos para alcançar a média de 25% de redução do teor de P, observaram reduções de 33% da concentração de P nas fezes sem que houvesse comprometimento da produção de leite. Esses autores concluíram que modificações em dietas podem resultar em grandes reduções na entrada de P em alimentos adquiridos pelas fazendas leiteiras, no balanço geral de P da fazenda e nas excreções nos dejetos.

O CH₄ entérico é um importante GEE, que é responsável por aproximadamente 15% do aquecimento global. A tendência ou obrigação legal de mitigar as emissões de GEE

influenciará diretamente a necessidade de aumento da eficiência zootécnica nos sistemas pecuários, atrelado ao manejo nutricional dos animais a ser adotado.

O desenvolvimento de estratégias de mitigação e a viabilidade de aplicação são temas atuais de pesquisa em todo o mundo (Pereira *et al.*, 2015). De acordo com Martin *et al.* (2010), as estratégias de nutrição de ruminantes para mitigação de CH₄ devem focar em um ou mais dos seguintes objetivos: redução da produção de H₂ no rúmen sem afetar negativamente a digestão; estimulação do uso de H₂ no rúmen por produtos alternativos; e inibição de *Archaea* metanogênicas (número e/ou atividade) associada à estimulação de vias que consomem H₂ para evitar os efeitos negativos do aumento da pressão parcial de H₂ no rúmen. Já segundo Pereira *et al.* (2015), as estratégias que estão sendo consideradas para mitigação de CH₄ entérico incluem modificações da composição e qualidade da dieta, adição de lipídios, uso de aditivos (ionóforos, ácidos orgânicos, extratos de plantas), vias alternativas para uso de H₂ no rúmen (probióticos acetogênicos, nitrato e sais de sulfato), vacinação contra organismos metanogênicos ruminais, uso de bacteriófagos e bacteriocinas, variações no manejo de pastagem e uso de sistemas de produção integrados.

Considerando as alterações na dieta,

Tabela 3. Desempenho reprodutivo de vacas de leite em lactação alimentadas com dietas com alto ou baixo teor de fósforo (P) – 393 dados de 13 experimentos

Item	Baixo P	Alto P
P na dieta (% da MS)	0,32 – 0,40	0,39 – 0,61
Dias para o 1º cio*	46,8 ± 10,9	51,6 ± 13,8
Dias vazias*	103,5 ± 21,4	102,1 ± 13,0
Taxa de prenhez*	92% ± 6%	85% ± 5%

*Médias ± desvio padrão, sem diferenças estatísticas significativas.

Fonte: Satter e Wu (1999).

Pereira *et al.* (2015) destacaram que o aumento nos índices zootécnicos, principalmente quando relacionados ao uso mais eficiente de forragem, associado à nutrição adequada, pode constituir uma estratégia importante para mitigação de GEE de origem entérica em ruminantes, e estudo com vacas de leite recentemente conduzido por Hristov *et al.* (2015) mostrou a capacidade da molécula 3-nitrooxypropanol para reduzir a emissão de CH₄ entérico sem afetar o consumo de alimento, a produção de leite ou a digestibilidade da fibra.

A coleta acurada de dados e a capacidade para transformá-los em informações úteis para nortear estratégias para planejamento, execução, monitoramento e ajustes do manejo nutricional são etapas fundamentais para alcançar a precisão na nutrição.

Considerações finais

A coleta acurada de dados e a capacidade para transformá-los em informações úteis para nortear estratégias para planejamento, execução, monitoramento e ajustes do manejo nutricional são etapas fundamentais para alcançar a precisão na nutrição. A nutrição de precisão para gado de leite deve ser abordada como uma postura gerencial que considere a variabilidade animal e permita que as exigências nutricionais sejam atendidas pontualmente (sem excesso ou escassez), maximizando o retorno econômico e minimizando o efeito negativo sobre o meio ambiente. Nesse contexto, o homem deve ser considerado o principal componente do processo, independentemente do nível tecnológico da propriedade.

Bibliografia citada

1. AFRC – AGRICULTURAL AND FOOD RESEARCH COUNCIL. **Energy and protein requirements of ruminants**. Wallingford: CAB International, 1993. 159p.
2. ARC – AGRICULTURAL RESEARCH COUNCIL. **The nutrient requirements of ruminants' livestock. Technical Review by Agricultural Research**

Council Working Party. London: Commonwealth Agricultural Bureau International, 1980, 351p.

3. ARC – AGRICULTURAL RESEARCH COUNCIL. **The nutrient requirements of ruminants' livestock: technical review**. London: Agricultural Research Council Working Party, 1965. 264p.
4. AZEVÊDO, J.A.G.; VALADARES FILHO, S.C.; DETMANN, E. et al. Predição de frações digestíveis e valor energético de subprodutos agrícolas e agroindustriais para bovinos. **Revista Brasileira de Zootecnia**, v.40, n.2, p.391-402, 2011.
5. BACKES, A.A. **Composição corporal e exigências de energia, proteína e macroelementos minerais, para bovinos mestiços leiteiros e zebu, castrados, em fase de recria e engorda, em confinamento**. 2003. 97p. Tese (Doutorado em Zootecnia) - Universidade Federal de Viçosa, Viçosa, MG.
6. BORCHERS, M.R.; BEWLEY, J.M. An assessment of producer precision dairy farming technology use, prepurchase considerations, and usefulness. **Journal of Dairy Science**, v.98, n.6, p.4198-4205, 2015.
7. BORGES, A.L.C.C. **Exigências nutricionais de proteína e energia de novilhas das raças Guzerá e Holandesa**. 2000. 90p. Tese (Doutorado em Ciência Animal) - Universidade Federal de Minas Gerais, Belo Horizonte, MG.
8. BORGES, A.L.C.C.; GONÇALVES, L.C.; GOMES, S.P. Regulação da ingestão de alimentos. In: GONÇALVES, L.C.; BORGES, I.; FERREIRA, D.P.S. **Alimentação de gado de leite**. Belo Horizonte, MG: FEPMVZ, p.1-25, 2009.
9. BRANCO, A.F.; OSMARI, M.P. **Nutrição de precisão e impacto ambiental**. IV Congresso Latino Americano de Nutrição Animal. Campinas-São Paulo: Colégio Brasileiro de Nutrição Animal, 2010, v. 600, p. 307-316.
10. CASPER, D.P.; MAIGA, H.A.; BROUK, M.J.; SCHINGOETHE, D.J. Synchronization of carbohydrate and protein sources on fermentation and passage rates in dairy cows. **Journal of Dairy Science**, v.82, n.8, p. 1779-1790, 1999.
11. CELA, S.; QUIRINE, M.; KETTERINGS, K. et al. Characterization of nitrogen, phosphorus, and potassium mass balances of dairy farms in New York State. **Journal of Dairy Science**, v.97, n.12, p.7614-7632, 2014.
12. CEROSALETTI, P.E.; FOX, D.G.; CHASE, L.E. Phosphorus reduction through precision feeding of dairy cattle. **Journal of Dairy Science**, v.87, n.7, p.2314-2323, 2004.
13. CHAPINAL, N.; VEIRA, D.M.; WEARY, D.M.; VON KEYSERLINGK, M.A.G. Technical Note: Validation of a System for Monitoring Individual Feeding and Drinking

- Behavior and Intake in Group-Housed Cattle. **Journal of Dairy Science**, v.90, n.12, p.5732–5736, 2007.
14. CHIZZOTTI, M.L.; MACHADO, F. S.; VALENTE, E.E.L. et al. Technical note: Validation of a system for monitoring indigestion behavior and individual feed intake in dairy cattle. **Journal of Dairy Science**, v.98, n.5, p.3438–3442, 2015.
 15. COLMENERO, J.J.; G.A. BRODERICK. Effect of dietary crude protein concentration on milk production and nitrogen utilization in lactating dairy cows. **Journal of Dairy Science**, v.89, n.5, p.1704–1712, 2006.
 16. CORSON, D.C.; WAGHORN, G.C.; ULYATT, M.J.; LEE, J. NIRS: Forage analysis and livestock feeding. **Proceedings of the New Zealand Grassland Association**. V.61, p. 127–132, 1999.
 17. COSTA, M.A.L.; VALADARES FILHO, S.C.; VALADARES, R.F.D. et al. Validação das equações do NRC (2001) para predição do valor energético de alimentos nas condições brasileiras. **Revista Brasileira de Zootecnia**, v.34, n.1, p.280-287, 2005.
 18. CSIRO – COMMONWEALTH SCIENTIFIC AND INDUSTRIAL RESEARCH ORGANISATION. **Nutrient requirements of domesticated ruminants**. Collingwood, Australia: CSIRO PUBLISHING. 2007. 270p.
 19. DETMANN, E.; PINA, D.S.; VALADARES FILHO, S.C. et al. Estimação da fração digestível da proteína bruta em dietas para bovinos em condições brasileiras. **Revista Brasileira de Zootecnia**, v.35, n.5, p.2101-2109, 2006a.
 20. DETMANN, E.; VALADARES FILHO, S.C.; HENRIQUES, L.T. et al. Estimação da digestibilidade dos carboidratos não-fibrosos em bovinos utilizando-se o conceito de entidade nutricional em condições brasileiras. **Revista Brasileira de Zootecnia**, v.35, n.4, p.1479-1486, 2006c.
 21. DETMANN, E.; VALADARES FILHO, S.C.; PINA, D.S. et al. Estimação da digestibilidade do extrato etéreo em ruminantes a partir dos teores dietéticos: desenvolvimento de um modelo para condições brasileiras. **Revista Brasileira de Zootecnia**, v.35, n.4, p.1469-1478, 2006b.
 22. DETMANN, E.; VALADARES FILHO, S.C.; PINA, D.S. et al. Prediction of the energy value of cattle diets based on the chemical composition of the feeds under tropical conditions. **Animal Feed Science and Technology**, v.143, p.127-147, 2008.
 23. DETMANN, E.; ZERVOUDAKIS, J.T.; CABRAL, L.S. et al. Validação de equações preditivas da fração indigestível da fibra em detergente neutro em gramíneas tropicais. **Revista Brasileira de Zootecnia**, v.33, n.6, p.1866-1875, 2004.
 24. DeVRIES, T.J.; VON KEYSERLINGK, M.A.G.; WEARY, D.M.; BEAUCHEMIN, K.A. 2003. Technical note: Validation of a system for monitoring feeding behavior of dairy cows. **Journal of Dairy Science**, v.86, n.11, p.3571–3574, 2003.
 25. GONÇALVES, L.C. **Digestibilidade, composição corporal, exigências nutricionais e características das carcaças de zebuínos, taurinos e bubalinos**. 1988, 238p. Tese (Doutorado em Zootecnia) - Universidade Federal de Viçosa, Viçosa, MG.
 26. HERRERA-SALDANA, R.; GOMEZ-ALARCON, R.; TORABI, M.; HUBER, J.T. Influence of synchronizing protein and starch degradation in the rumen on nutrient utilization and microbial protein synthesis. **Journal of Dairy Science**, v.73, n.1, p.142-148, 1990.
 27. HRISTOV, A.N.; OH, J.; GIALLONGO, F.; et al. An inhibitor persistently decreased enteric methane emission from dairy cows with no negative effect on milk production. **PNAS**, v.112, n.34, p. 10663–10668, 2015.
 28. HUTJENS, M.F. Changes in feeding dairy cows during the last 20 years and what's ahead. In: TRI-STATE DAIRY NUTRITION CONFERENCE, 2011, Indiana, EUA. **Proceedings...** Indiana: Tri-state Dairy Nutrition Conference, 2011.
 29. INRA – INSTITUT NATIONAL DE LA RECHERCHE AGRONOMIQUE. **Alimentation des ruminants**. Versailles: INRA Pub., 1978. 697p.
 30. KNOWLTON, K.F. Strategies to Reduce Phosphorus Losses from Dairy Farms. **WCDS Advances in Dairy Technology**, v.23 p.299-309, 2011.
 31. KOLVER, E.; MULLER, L.D.; VARGA, G.A.; CASSIDY, T.J. Synchronization of ruminal degradation of supplemental carbohydrate with pasture nitrogen in lactating dairy cows. **Journal of Dairy Science**, v.81, n.7, p.2017-2028, 1998.
 32. KUIPERS, A.; MANDERSLOOT F.; ZOM R.L.G. An approach to nutrient management on dairy farms. **Journal of Dairy Science**. v.82, suppl.2, p.84–89. 1999.
 33. LANNA, D.P.D.; BOIN, C.; FOX, D.G. Validação do CNCPS e do NRC (1984) para estimativa dos requerimentos nutricionais e desempenho de zebuínos em crescimento. In: REUNIÃO ANUAL DA SOCIEDADE BRASILEIRA DE ZOOTECNIA, 31. 1994, **Anais...** Maringá, PR: Sociedade Brasileira de Zootecnia, p.480. 1994.
 34. MAGALHÃES, K.A.; VALADARES FILHO, S.C.; DETMANN, E.; et al. Evaluation of indirect methods to estimate the nutritional value of tropical feeds for ruminants. **Animal Feed Science and Technology**, v. 155, p.44-54, 2010.
 35. MARTEN, G.C., HALGERSON, J.L. AND CHEMEY, J.H., Quality prediction of small grain forage by near-infrared reflectance spectroscopy. **Crop Science**, v.23, p.94-96, 1983.
 36. MARTIN, C.; MORGAVI D.P.; DOREAU, M. Methane mitigation in ruminants: from microbes to the farm scale. **Animal**, v.4, issue 3, p.351-365, 2010.
 37. MAZERIS, F. Arrangement and method for feeding animals. 2007. **Unites States Patent and Trademark Office - USPTO**. Disponível em: <<http://www.uspto.gov/web/patents/patog/week30/OG/html/1416-4/US09091644-20150728.html>> Acesso em 09/set./15.

38. MORSE, D.; HEAD, H.H.; WILCOX, C.J. et al. Effects of concentration of dietary phosphorus on amount and route of excretion. **Journal of Dairy Science**, v.75, n.11, p.3039-3049, 1992.
39. NEVES, A.L.A.; PEREIRA, L.G.R.; VERNEQUE, R.S. et al. **Tabelas nordestinas de composição de alimentos para bovinos**. Brasília, DF: Embrapa, 2014. 184p.
40. NORRIS, K.H., BARNES, R.F., MOORE, J.E. AND SHENK, J.S. Predicting forage quality by infrared reflectance spectroscopy. **Journal of Animal Science**, v.43, p.889-897, 1976.
41. NRC – NATIONAL RESEARCH COUNCIL. **Nutrient Requirements of Dairy Cattle**. 7th. ed. Washington, DC: National Academy Press, 2001. 381p.
42. OLDHAM, J.D. Protein-Energy Interrelationships in Dairy Cows. **Journal of Dairy Science**, v.67, n.5, p.1090-1114, 1984.
43. PEREIRA, L.G.R.; MACHADO, F.S.; CAMPOS, M.M. et al. Enteric methane mitigation strategies in ruminants: a review. **Revista Colombiana de Ciencias Pecuarias**, v.28, p. 124-143, 2015.
44. PINA, D.S.; VALADARES FILHO, S.C.; DETMANN, E. et al. Efeitos de indicadores e dias de coleta na digestibilidade dos nutrientes e nas estimativas do valor energético de alimentos para vacas alimentadas com diferentes fontes de proteína. **Revista Brasileira de Zootecnia**, v.35, p.2461-2468, 2006.
45. ROBINSON, P.H.; CHALUPA, W.; SNIFFEN, C.J.; et al. Influence of abomasal infusion of high levels of lysine or methionine, or both, on ruminal fermentation, eating behavior, and performance of lactating dairy cows. **Journal of Animal Science**, v.78, n.4, p.1067-1077, 2000.
46. ROBINSON, P.H., FREDEEN, A.H.; CHALUPA, W.; et al. Ruminally protected lysine and methionine for lactating dairy cows fed a diet designed to meet requirements for microbial and post-ruminal protein. **Journal of Dairy Science**, v.78, n.3, p.582-594, 1995.
47. ROBINSON, P.H. Impacts of manipulating ration metabolizable lysine and methionine levels on the performance of lactating dairy cows: A systematic review of the literature. **Livestock Science**, v.127, p.115-126, 2010.
48. ROCHA JÚNIOR, V.R.; VALADARES FILHO, S.C.; BORGES, A.M. et al. Estimativa do valor energético dos alimentos e validação das equações propostas pelo NRC (2001). **Revista Brasileira de Zootecnia**, v.32, n.2, p.480-490, 2003.
49. ROSSOW, H.A.; ALY, S.S. Variation in nutrients formulated and nutrients supplied on 5 California dairies. **Journal of Dairy Science**, v.96, n.11, p.7371-7381, 2013.
50. SATTER, L.D.; WU, Z. Reducing manure phosphorus by dairy diet manipulation. In: CORNELL NUTRITION CONFERENCE FOR FEED MANUFACTURERS, 1999, Rochester, New York, **Proceedings...** Ithaca, NY: Cornell University, p.183-192, 1999.
51. SILVA, R.R. **Respirometria e determinação das exigências de energia e produção de metano de fêmeas bovinas leiteiras de diferentes genótipos**. 2011. 59p. Tese (Doutorado em Zootecnia). Universidade Federal de Minas Gerais, Belo Horizonte, MG.
52. SNIFFEN, C.J.; CHALUPA, W. Targeted Feeding to Save Nutrients. In: WESTERN DAIRY MANAGEMENT CONFERENCE, 2015, **Proceedings...** Reno, Nevada, 2015. Disponível em: <<http://www.wdmc.org/2015/Sniffen.pdf>> Consultado em 05/out./2015.
53. STUTH, J.; JAMA, A.; TOLLESON, D. Direct and indirect means of predicting forage quality through near infrared reflectance spectroscopy. **Field Crops Research**, v.84, p.45-56, 2003.
54. VALADARES FILHO, S.C.; MARCONDES, M.I.; CHIZZOTTI, M.L.; PAULINO, P.V. R. **Nutrient requirement of zebu cattle - BR-CORTE**. 2. ed. Viçosa, MG: UFV, DZO. 2010a, 185p.
55. VALADARES FILHO, S.C., MACHADO, P.A.S., CHIZZOTTI, M.L. et al. CQBAL 3.0. Tabelas Brasileiras de Composição de Alimentos para Bovinos. 2015. Disponível em: <<http://cqbala.gropecuaria.ws/webcqbala/index.php>>. Acesso em: 15/set./2015.
56. VALADARES FILHO, S.C.; MACHADO, P.A.S.; CHIZZOTTI, M.L. et al. **Tabelas brasileiras de composição de alimentos para bovinos. CQBAL 3.0**. 3.ed. Viçosa, MG: Universidade Federal de Viçosa; Suprema Gráfica Ltda. 2010b.
57. VALADARES FILHO, S.C.; MAGALHÃES, K.A.; ROCHA JUNIOR, V.R. et al. **Tabelas brasileiras de composição de alimentos para bovinos. CQBAL 2.0**. 2.ed. Viçosa, MG: Universidade Federal de Viçosa; Suprema Gráfica Ltda. 2006a. 329p.
58. VALADARES FILHO, S. C.; PAULINO, P. V. R.; MAGALHÃES, K. A. **Exigências nutricionais de Zebuínos e tabelas de composição de alimentos - BR-CORTE**. 1 ed. Viçosa, MG: Viçosa, MG: UFV, DZO. 2006b, 142 p.
59. VALADARES FILHO, S.C., ROCHA JUNIOR, V.R., CAPPELLE, E.R. **Tabelas brasileiras de composição de alimentos para bovinos. CQBAL 2.0**. 1.ed. Viçosa, MG: Universidade Federal de Viçosa; Suprema Gráfica Ltda. 2002.
60. WHITE, R.R.; CAPPER, J.L. Precision diet formulation to improve performance and profitability across various climates: Modeling the implications of increasing the formulation frequency of dairy cattle diets. **Journal of Dairy Science**, v.97, n.3, p.1563-1577, 2014.
61. WU, Z.; SATTER, L.D. Milk production and reproductive performance of dairy cows fed two concentrations of phosphorus for two years. **Journal of Dairy Science**, v.83, n.5, p.1052-1063, 2000.
62. WU, Z.; SATTER, L.D.; SOJO, R. Milk production, reproductive performance, and fecal excretion of phosphorus by dairy cows fed three amounts of phosphorus. **Journal of Dairy Science**. v.83, n.5, p.1028-1041. 2000.



Tecnologias de precisão na avaliação da eficiência alimentar

bigstockphoto.com

Mariana Magalhães Campos¹ - CRMV-MG 8402, Juliana Mergh Leão² - CRMV-MG 15859
Juliana Aparecida Mello Lima³, Fernanda Samarini Machado⁴ - CRMV-MG 11138

¹ Doutor Zootecnia UFMG - Embrapa Gado de leite

² Doutoranda Zootecnia UFMG - EV.UFMG

³ Doutor Zootecnia UFMG - Pós doc Embrapa/UFSJ

⁴ Doutor Zootecnia UFMG - Embrapa Gado de leite

Introdução

Nos últimos anos, além do histórico aumento dos custos de produção, a pecuária leiteira nacional vem lidando com novos desafios, como a crescente percepção dos consumidores quanto à segurança alimentar, bem-estar animal e impactos ambientais da agropecuária. Nesse cenário de margens de lucro reduzidas, só existe um caminho a ser seguido: o aumento da eficiência dos sistemas de produção de leite.

Uma alternativa para vencer esse desafio é a identificação de animais mais eficientes no aproveitamento do alimento consumido. Como os gastos com alimentação represen-

Animais que utilizam os alimentos de forma mais eficiente necessitam consumir menos para atingir o mesmo nível de produção e, dessa forma, são mais lucrativos e produzem mais alimento por unidade de área.

tam o principal custo da atividade pecuária, diferenças entre os animais na conversão da dieta consumida em leite e carne são de grande relevância. Animais que utilizam os alimentos de forma mais eficiente necessitam consumir menos para atingir o mesmo nível de produção e, dessa forma, são mais lucrativos e produzem mais alimento por unidade de área. Além disso, o aumento da eficiência alimentar proporciona menor desperdício e excreção de nutrientes, com implicações ambientais positivas.

Na bovinocultura brasileira, a seleção para eficiência alimentar vem sendo aborda-

da somente nos últimos anos, e ainda está restrita à pecuária de corte. Esse atraso no melhoramento genético para eficiência alimentar pode ser atribuído principalmente à dificuldade de mensurar o consumo alimentar, particularmente em sistemas a pasto. No processo de busca pelo aumento da eficiência produtiva e ambiental, a aplicação do conceito de pecuária de precisão vem se tornando cada vez mais frequente, e pode ser definido como: o uso de tecnologias para mensurar, de forma individualizada, indicadores produtivos, fisiológicos e comportamentais dos animais. Dessa maneira, a utilização de tecnologias de precisão para avaliação de eficiência alimentar surge como oportunidade para o estudo da variabilidade individual e para acelerar o processo de seleção e melhoramento genético dos animais.

Algumas tecnologias de precisão já vêm sendo utilizadas em fazendas leiteiras, como o registro diário da produção de leite e do peso vivo, o uso de detectores de estro e monitores da condutividade do leite. Outras tecnologias de precisão também têm sido propostas para mensurar consumo de alimentos e água, comportamento alimentar, batimento cardíaco, frequência respiratória, temperatura da superfície corporal, pH ruminal, atividade e posição dos animais, entre outras.

Métodos de Avaliação de Eficiência Alimentar

Várias medidas foram propostas ao longo dos anos para avaliar a eficiência alimentar, tais como: conversão alimentar e

eficiência alimentar bruta. Em bovinos existe variação genética tanto na conversão alimentar como na eficiência alimentar bruta. Contudo, esses índices possuem limitações como características de seleção, por estarem correlacionados com ganho de peso e peso à idade adulta. A utilização dessas medidas compromete a eficiência produtiva de sistemas a pasto, por haver aumento no tamanho adulto dos animais e, por conseguinte, das suas exigências de manutenção, além de comprometer a eficiência reprodutiva em condições nutricionais limitantes.

A eficiência de conversão alimentar não considera a mobilização de reservas corporais e, conseqüentemente, os animais que perdem condição corporal para produção de leite podem parecer mais eficientes.

Assim, a seleção baseada na eficiência de conversão alimentar pode favorecer vacas com balanço energético negativo acentuado no início da lactação.

Um índice alternativo para medir eficiência alimentar é o Consumo Alimentar Residual (CAR), definido como a diferença entre o consumo real e a quantidade estimada de alimento que um animal deveria ingerir,

com base no seu peso vivo médio e no ganho de peso ou produção de leite. A estimativa da ingestão de matéria seca esperada pode ser predita a partir dos dados de peso e de produção, utilizando-se as normas e padrões de alimentação (por exemplo, NRC, 2001), ou por regressão, usando-se dados de alimentação real do ensaio, dentro de um grupo contemporâneo. Dessa forma, animais mais eficientes têm um CAR negativo (consumo observado menor que o esperado), e os menos eficientes

Um índice alternativo para medir eficiência alimentar é o Consumo Alimentar Residual (CAR), definido como a diferença entre o consumo real e a quantidade estimada de alimento que um animal deveria ingerir, com base no seu peso vivo médio e no ganho de peso ou produção de leite.

têm um CAR positivo (consumo observado maior que o estimado).

Coleman *et al.* (2010) estudaram definições alternativas de eficiência alimentar e mostraram que as definições convencionais, tais como a eficiência de conversão alimentar ou consumo alimentar residual podem ser medidas inadequadas de eficiência para vacas em lactação. O parâmetro alternativo proposto pelos autores foi a produção de sólidos residuais, que permitiu a identificação de animais que produzem maiores quantidades de sólidos de leite em relação ao consumo de alimento, sem mobilização excessiva de tecido corporal, e com melhores índices de fertilidade. Obtiveram também resultados que evidenciam a existência de diferenças entre as linhagens de Holandês-Friesian e entre genótipos de um mesmo grupo racial, assim as melhorias na eficiência de alimentação podem ser realizadas se a definição apropriada de eficiência alimentar é incorporada em programas de melhoramento.

Os principais índices e forma de cálculo de eficiência alimentar são:

- Conversão Alimentar: relação entre o consumo médio em kg de matéria seca dividido pelo ganho de peso diário (GPD) em kg (animais em crescimento e touros) ou pela produção diária de leite e pela produção diária de sólidos no leite (fêmeas em lactação).
- Eficiência Leiteira: relação entre a produção de leite não corrigida para gordura com a ingestão de matéria seca em kg.
- Eficiência alimentar ou eficiência de ingestão de matéria seca: relação entre a produção de leite corrigido para gordura e ingestão de matéria seca (kg).
- Desempenho em relação ao peso vivo: Ganho de peso (kg) ou produção de leite e produção de sólidos no leite (kg) dividido pelo peso vivo (kg).

- Consumo de matéria seca total em relação ao peso vivo: consumo de matéria seca (kg) dividido pelo peso vivo (kg).
- Consumo alimentar residual (CAR): calculado pela diferença entre o consumo médio de MS mensurado ao longo do experimento e o consumo estimado (kg/dia de MS). O consumo estimado será calculado pela equação de regressão do tamanho metabólico e do ganho de peso (GMD, kg/dia) sobre o consumo.
- Ganho residual (GR) ou Ganho de Peso Residual: diferença da estimativa do GPD baseado na ingestão de MS e no peso vivo com o GPD observado em kg.
- Consumo e Ganho Residual (CGR): associa o CAR e o GR; é a soma do CAR multiplicado por -1 e o GR; $CGR = CAR \times (-1) + GR$.
- Produção Residual de Leite: diferença da estimativa da produção de leite baseada na ingestão de MS e no peso vivo com a produção de leite observada em kg.
- Produção Residual de Sólidos no Leite: diferença da estimativa da produção de sólidos no leite baseada na ingestão de MS e no peso vivo com a produção de sólidos observada em kg.

Evidentemente, é importante assegurar que os animais metabolicamente mais eficientes não apresentem características indesejáveis de reprodução e saúde. Berry e Crowley (2013) estimaram que a herdabilidade para CAR esteja entre 0,13 e 0,82, portanto existe variação genética suficiente para permitir respostas positivas à seleção genética.

No entanto, um dos maiores desafios para avaliação da eficiência alimentar como parâmetro de seleção a ser utilizada em rebanhos comerciais, independentemente do índice e forma de cálculo utilizado, seria a mensuração individual do consumo de matéria seca.

Tecnologias de precisão na mensuração do consumo

Em ruminantes o consumo pode ser estimado por métodos diretos e indiretos. Em sistemas de alimentação em confinamento, a mensuração do consumo é feita de forma direta; medem-se os consumos dos alimentos e das eventuais sobras. Por outro lado, nos sistemas de alimentação a pasto, a determinação desse consumo é complexa, devido ao procedimento de mensuração em si, ou do método de estimativa a empregar e do grande número de variáveis envolvidas. Apesar da sua complexidade, a mensuração do consumo a pasto pode ser feita de forma direta, pela diferença do peso ou altura da pastagem antes e após o pastejo, ou indireta, através da técnica dos indicadores, cálculos matemáticos, mudança no peso do animal, entre outros.

Independentemente da adoção de métodos diretos ou indiretos, a realização da mensuração do consumo, em grande número de animais e de forma confiável, ainda representa uma etapa muito laboriosa. Nos últimos anos, outra forma de mensuração do consumo tem ganhado destaque. Trata-se do uso de dispositivos eletrônicos de monitoramento de consumo baseado na tecnologia de identificação por radiofrequência (RFID). Várias empresas comerciais apresentam dispositivos eletrônicos que utilizam esse sistema para a mensuração do consumo e comportamento alimentar, entre elas: Growsafe, no Canadá; CalanGattes, nos Estados Unidos da América; BioControl e Insentec, na

Trata-se do uso de dispositivos eletrônicos de monitoramento de consumo baseado na tecnologia de identificação por radiofrequência (RFID) ... para a mensuração do consumo e comportamento alimentar.

Europa; e Intergado, no Brasil.

Basicamente, esses sistemas funcionam da seguinte forma: quando o animal, devidamente identificado com bóton eletrônico, se aproxima do leitor de radiofrequência colocado na entrada do cocho de alimentação, este

capta o sinal do bóton eletrônico, transferindo a informação para o banco de dados do sistema. Ao mesmo tempo, células eletrônicas de carga instaladas sob o cocho registram a quantidade de alimento presente no cocho antes da entrada e após a saída do animal, e por diferença calcula a quantidade consumida.

De acordo com Eradus e Jansen (1999), os sistemas computadorizados que utilizam tecnologias baseadas em RFID permitem a avaliação simultânea de grande número de animais alojados em grupos, o que facilita a mensuração de características únicas de um determinado animal. Esses equipamentos têm sido utilizados em diversos estudos (DeVries *et al.*, 2003; Svennson e Jensen, 2007; Lancaster *et al.*, 2009) e, além das aplicações na identificação e seleção de animais mais eficientes e, portanto, mais lucrativos para os sistemas, as informações geradas por esses sistemas podem ser valiosas na identificação precoce de doenças, dada a possível relação entre a modificação do comportamento natural de consumo com o surgimento de enfermidades diversas (Quimby *et al.*, 2001; Robles *et al.*, 2007; Weary *et al.*, 2009). Em experimentos objetivando a validação desses equipamentos, observou-se que os sistemas baseados em RFID são fontes confiáveis para medir o consumo animal e o comportamento

alimentar dos animais (Schwartzkopf-Genswein *et al.*, 1999; Chapinal *et al.*, 2007; Chizzotiti *et al.*, 2015).

No Brasil, pesquisas com tecnologia de precisão na mensuração do consumo já estão sendo conduzidas na Embrapa Gado de Leite, em parceria com a Universidade Federal de Minas Gerais e a empresa nacional Intergado, para avaliação da eficiência alimentar em vacas em lactação e em bezerras e novilhas em crescimento, bem como para o estudo da associação da eficiência alimentar com fertilidade e saúde animal. Esses animais estão sendo diariamente monitorados quanto ao consumo de alimentos, água e peso vivo por um sistema automático, composto por cochos e bebedouros eletrônicos associados a estações de pesagem corporal dos animais. Além de fornecer informações de consumo de alimento e água, o sistema permite monitorar: a frequência de visitas ao cocho e ao bebedouro, bem como a duração dessas visitas; os horários preferenciais de alimentação; a taxa de ocupação dos cochos; os horários dos tratamentos; monitoramento das sobras e pesagem corporal automática cada vez que o animal acessa o bebedouro.

Atualmente, a utilização de cochos eletrônicos tem aumentado e, com o aumento da oferta de equipamentos e redução nos custos de implantação, tende a seguir ascendente e em ritmo acelerado. A facilidade de coleta e armazenamento dos dados gerados, a confiabilidade dessas informações e a possibilidade de se avaliar simultaneamente grupos de animais ou um único indivíduo são algumas das razões que justificam essa tendência.

Apesar da maior ascensão de tecnolo-

gias que facilitam a mensuração do consumo individual e consequentemente a determinação da eficiência alimentar (EA), tecnologias de mensuração indireta, como a termografia por infravermelho (TIV), mensuração de produção de calor (PC) e frequência cardíaca (FC), produção de metano, metabólitos e comportamento alimentar também têm se mostrado como ferramentas alternativas.

Termografia por Infravermelho

Montanholi *et al.* (2007) sugeriram que animais mais eficientes tinham menor temperatura de superfície corporal que animais menos eficientes (CAR positivo). Montanholi *et al.* (2008) propuseram a utilização da termografia por infravermelho, em diferentes pontos corporais, para prever a produção de calor, produção de metano e detecção de eventos fisiológicos como incremento calórico na alimentação em vacas em lactação. Os autores utilizaram quatro vacas, e imagens termográficas foram tiradas dos flancos esquer-

do e direito, garupa esquerda, membros anteriores (face traseira). Foram encontradas correlações moderadas a altas (0,58-0,88) para temperaturas da superfície da pele e a produção de calor. As temperaturas observadas nos membros

anteriores tiveram alta correlação com a produção de calor (esquerda: 0,83; direita: 0,88; $P < 0,001$). A diferença de temperatura entre os flancos esquerdo e direito apresentou correlação de 0,53 com a produção de metano. Além disso, nas imagens termográficas, foram obtidas temperaturas que correlacionaram em 0,77 com o metano quando os dados dos cinco pontos de avaliação nos tempos subse-

Montanholi et al. (2007) sugeriram que animais mais eficientes tinham menor temperatura de superfície corporal que animais menos eficientes (CAR positivo).

quentes para cada uma das duas refeições foram investigados ($P < 0,01$).

Em 2009, Montanholi *et al.* relataram que a extremidade dos membros posteriores e a temperatura da ganacha foram os locais do corpo mais indicados para avaliar indiretamente a eficiência alimentar em bovinos.

Colyn (2013) determinou CAR de 61 novilhas de corte em ensaio de 113 dias após o desaleitamento. Os valores de CAR variaram de -1,55 a 2,19kg/d (desvio padrão = 0,78). As novilhas foram classificadas em baixo, médio ou alto CAR. As médias das temperaturas das imagens termográficas de diversos pontos foram feitas de quatro momentos. Os animais baixo e médio CAR tiveram IMS 7,5% e 6,5%, respectivamente, menores quando comparados aos animais classificados como alto CAR. Novilhas de baixo e médio CAR obtiveram temperaturas médias de ganacha de 19,88°C e 20,40°C ($P > 0,05$), respectivamente, porém menores do que novilhas de alto CAR (21,29°C; $P < 0,0001$). Médias das temperaturas do globo ocular tenderam a crescer nos grupos de baixo ao alto CAR ($P = 0,0747$). Houve correlação de $r = 0,46$ ($P < 0,001$) da temperatura da ganacha com CAR. O autor concluiu que a mensuração de perda de calor irradiado na área da ganacha poderia prever a eficiência alimentar em novilhas, mas sugeriu a realização de mais ensaios para confirmar a correlação. Em outro estudo, Montanholi *et al.* (2010) observaram que as temperaturas de ganacha foram positivamente correlacionadas ao CAR, IMS, ganho médio diário e conversão alimentar em bovinos de corte.

Montanholi *et al.* (2010) avaliaram potenciais preditores de eficiência alimentar pela termografia da área do globo ocular, ganacha, focinho e costelas, em 91 novilhas durante dois períodos de ensaio (ano 1 = 46; ano 2 = 45), com duração de 140 dias. Novilhas foram classificadas como baixo, médio e alto

CAR. Os animais de baixo CAR obtiveram menor IMS e temperaturas de ganacha e focinho mais baixas que animais menos eficientes (alto CAR) (28,1°C x 29,2°C e 30,0°C x 31,2°C, respectivamente), indicando melhor eficiência energética nos animais de CAR baixo.

Produção de Calor e Frequência Cardíaca

Por definição, o somatório de produção de calor (PC) associado ao metabolismo basal, incremento calórico, respostas termorregulatórias e atividades físicas, além da energia retida como produto (por exemplo: leite ou tecido) será igual ao consumo de energia metabolizável total. A energia retida pelos animais em crescimento é utilizada para formação de proteína ou ganho de gordura, porém há necessidade de mais energia para depositar gordura quando se compara à formação de tecido muscular.

Paddock (2010) estudou 16 novilhas Brangus selecionadas para alto e baixo CAR e observou maior FC nos animais de alto CAR (97,7 vs. 89,6bat/min) em detrimento dos animais de baixo CAR. Além disso, as novilhas com alto CAR consumiram mais oxigênio por batimento cardíaco (mL/bat) e, como resultado, o gasto energético (produção de calor) foi 17,4% maior nos animais de alto CAR em comparação aos animais de baixo CAR.

Diversos autores demonstraram que animais eficientes produzem menos calor em relação aos ineficientes (Basarab *et al.*, 2003; Almeida, 2005; Nkrumah *et al.*, 2006). A produção de calor foi 21% menor para animais de baixo CAR, quando comparados a animais de alto CAR, e 10% menor para animais de médio CAR, quando comparados a animais de alto CAR, mostrando que um dos fatores que pode explicar a melhor eficiência dos animais de baixo CAR é o menor gasto energé-

tico com produção de calor (Nkrumah *et al.*, 2006). A menor produção de calor em animais eficientes está relacionada à menor exigência de manutenção, e isso pode ser consequência de mecanismos biológicos, como baixa produção de metano durante a digestão, baixa atividade física e menor resposta ao estresse (Nkrumah *et al.*, 2006).

A menor produção de calor em animais eficientes está relacionada à menor exigência de manutenção, e isso pode ser consequência de mecanismos biológicos, como baixa produção de metano durante a digestão, baixa atividade física e menor resposta ao estresse.

Leão *et al.* (2015) avaliaram a produção de calor em bezerras Holandês x Gir (F1) aos 50 dias de idade, com diferentes fenótipos para CAR, medindo as trocas gasosas respiratórias pelo método da máscara facial. Dezoito animais foram alojados em baias individuais com cama de areia. Todos os animais foram alimentados com 6L/dia de leite integral (11,75% de sólidos totais), divididos em 2 refeições iguais (7 e 15h). A dieta sólida consistiu em 95% de ração peletizada (88% MS, 20% PB e 3% de gordura) e 5% de feno de tifton 85 (81% MS; 13,4% de PB; 72,8% FDN; 32,3% FDA) *ad libitum*. A água foi fornecida *ad libitum* desde o primeiro dia de vida. Animais foram classificados em CAR baixo (eficientes) e alto (ineficientes). Dados de consumo de oxigênio, dióxido de carbono e produção de metano foram registrados utilizando-se o sistema Sable (Sable Systems, Henderson, NV) acoplado à máscara facial, e cada leitura foi feita em 20 minutos, 3 horas após o fornecimento do leite da manhã, em dois dias consecutivos. A frequência cardíaca (FC) foi registrada durante 20 minutos com transmissor equino Polar (RS800CX G3, Polar Electro Inc., Finlândia). O gasto energético foi calculado como a produção de calor estimada a partir da equação de Brouwer (1965). Bezerras de alto CAR obtiveram 12,39% a mais de consumo de MS ($P < 0,05$) do que o

grupo de baixo CAR (1,07 e 0,941kg/dia, respectivamente), mas o peso corporal foi superior em 0,6% ($P < 0,05$) para o grupo CAR baixo. A frequência cardíaca não diferiu entre os grupos, porém animais de alto CAR apresentaram maior produção de calor (177,64kcal / kg de peso metabólico - PM) do que os animais de baixo

CAR (144,40 kcal / kg de PM).

Hafla *et al.* (2013) não estudaram a relação do CAR com a produção de calor, mas observaram como a classificação de CAR pode afetar algumas características de desempenho em 48 novilhas Bonsmara no meio da gestação, dentre elas a frequência cardíaca. Os autores observaram que a FC das fêmeas classificadas em baixo CAR foi 7% menor em relação às fêmeas classificadas em alto CAR (66,1 vs. 71,1 bat/min).

Produção de Metano

A eficiência dos sistemas pecuários brasileiros ainda é passível de melhorias, existindo possibilidades de aumento na quantidade de produto final, mantendo ou reduzindo a emissão de gases do efeito estufa (GEE). Quanto maior a proporção de vacas em lactação em uma propriedade, menor a emissão de GEE por kg de leite produzido. Toda ação que melhore a eficiência do sistema de produção reduz, proporcionalmente, a emissão de metano, uma vez que mais produto (carne, leite, lã, etc.) será produzido em relação aos recursos utilizados (Guimarães Jr. *et al.*, 2010).

Com a seleção de animais de baixo CAR, há possibilidade de reduzir a pegada de carbono da produção de leite e carne, já que esses animais apresentam menores exigências

nutricionais e, consequentemente, menor demanda para a produção de alimentos, assim como menor quantidade de dejetos produzidos. Nkrumah *et al.* (2007) observaram que a produção de metano por kg de peso corporal metabólico foi 34% maior em animais de alto CAR em comparação com novilhos de baixo CAR. Do mesmo modo, a produção de metano (g/dia) foi 25% menor em novilhos de baixo CAR em comparação com os de alto CAR (Hegarty *et al.*, 2007).

Yan *et al.* (2010) avaliaram dados obtidos em 20 estudos sobre metabolismo energético realizados em câmaras respirométricas de fluxo aberto, envolvendo 579 vacas em lactação, com variação no mérito genético, número e fase da lactação e peso corporal. Os autores estudaram as taxas de emissão de metano entérico em relação a variáveis de eficiência de utilização de energia e de produtividade animal. Os resultados indicaram que a perda de energia na forma de CH₄ como proporção da energia bruta (EB) ingerida ou da energia do leite foi negativamente relacionada aos níveis de produção leiteira, metabolizabilidade da energia (q) e eficiência de utilização da energia metabolizável para lactação (K_l). Portanto, a seleção de vacas leiteiras com elevados níveis de produção e eficiência de utilização de energia representa estratégia eficiente para mitigação de metano.

Parâmetros sanguíneos relacionados à Eficiência Alimentar

Hormônios são componentes influenciados diretamente por fatores nutricionais, pois regulam a partição de nutrientes (insulina e glucagon) e determinam a taxa de

A seleção de vacas leiteiras com elevados níveis de produção e eficiência de utilização de energia representa estratégia eficiente para mitigação de metano.

metabolismo basal ou de deposição (hormônios do eixo somatotrópico, hormônio de crescimento, IGF-1 e hormônios da tireoide) (Bellmann *et al.*, 2004).

A leptina é reguladora do metabolismo energético, exercendo influência no comportamento de consumo de alimentos e reprodução dos animais, sendo correlacionada à massa de gordura corporal, devido às alterações que provoca na ingestão de alimentos (Zieba *et al.*, 2005). A insulina influencia a regulação da concentração de glicose circulante e é diretamente envolvida com o crescimento celular e desenvolvimento dos animais (Fouladi-Nashta e Campbell, 2006). Atua também no hipotálamo, influenciando no mecanismo da fome-saciedade e em tecidos corporais, como fígado, músculos, glândulas mamárias e ovário (Cunningham, 2004; Volp *et al.*, 2008). O IGF-1 é liberado pelo fígado e tecidos periféricos, atuando na concentração de glicose e no metabolismo de aminoácidos e proteínas, com alteração nos processos de síntese e degradação, influenciando no crescimento, composição de carcaça e eficiência alimentar (Lobley, 1992). Kelly *et al.* (2009) analisaram o plasma sanguíneo de novilhas cruzadas Limousin e Holandês e encontraram correlações significativas entre CAR e as concentrações de ácidos graxos não esterificados ($r = -0,21$) e β -hidroxibutirato ($r = 0,37$). Os mesmos autores também encontraram correlações significativas entre conversão alimentar e as concentrações sanguíneas de leptina ($r = 0,48$), ácidos graxos não esterificados ($r = -0,32$), β -hidroxibutirato ($r = 0,25$) e relação glicose:insulina ($r = -0,23$), concluindo que os processos biológicos do animal podem ser responsáveis pela variação da eficiência alimentar em gado de corte.

Em estudo realizado por Santos (2014), com o objetivo de avaliar associações entre desempenho, eficiência alimentar e parâmetros sanguíneos e consumo alimentar residual (CAR) em bovinos Nelore (n = 118), em fase de crescimento, durante 84 dias, os animais foram classificados em baixo (CAR < -0,128kg/d; n = 40); médio (CAR entre -0,128 e 0,135kg/d; n = 42) e alto CAR (CAR > 0,135kg/d; n = 36). Animais de baixo CAR consumiram, em média, 0,670kg/d de matéria seca a menos que animais de alto CAR. Dos parâmetros sanguíneos analisados, a ureia, IGF-I e insulina apresentaram diferenças entre os grupos. Foram detectadas concentrações sanguíneas menores de ureia (5,58 vs. 5,91mmol/L) e maiores de insulina (4,45 vs. 3,70µIU/mL) e IGF-I (433 vs. 399ng/mL) para, respectivamente, animais de baixo CAR quando comparados aos animais de alto CAR.

Em outro estudo, foi encontrado que animais mais eficientes tiveram menores níveis sanguíneos de ureia, cortisol e insulina, e maiores níveis de triglicérides; essas respostas possivelmente estão relacionadas com a reciclagem dos tecidos, mudanças na composição corporal e uma resposta ao estresse (Richardson & Herd, 2004).

Comportamento Alimentar

Richardson *et al.* (2004), estudando padrões de alimentação de novilhos selecionados para CAR, demonstraram que animais menos eficientes permanecem 5% mais tempo se alimentando.

Nkrumah *et al.* (2006), trabalhando com 27 novilhos cruzados Angus x Charolês, concluíram que os animais menos eficientes ficaram mais tempo se alimentando a cada visita ao cocho e apresentaram número de visitas superior quando comparados com novilhos de baixo CAR, apresentando menor digestibilidade da matéria seca e da proteína bruta. Os autores encontraram correlações significativas entre tempo de alimentação e digestibilidade da matéria seca (0,55), digestibilidade da proteína bruta (0,47) e energia digestiva (0,55). Já os animais mais eficientes tiveram menor gasto de energia em relação à taxa de alimentação e taxa de mastigação.

Nkrumah *et al.* (2007) avaliaram o CAR de novilhos da raça Angus e Charolês, e verificaram que os mais eficientes permaneceram menos tempo se alimentando, visitaram menos vezes o cocho e apresentaram um menor gasto energético com essas atividades quando comparados a animais menos eficientes. Aldrighi (2013) avaliou animais jovens da raça Nelore (machos e fêmeas) e encontrou diferença significativa entre as classes de CAR (baixo, médio e alto CAR) no tempo utilizado para alimentação.

Egawa (2012), estudando fêmeas da raça Nelore, não detectou diferença significativa entre as classes de CAR para tempo de ruminação. Entretanto, quando comparou o tempo de ruminação destinado para cada kg de matéria seca ingerida, observou que os animais mais eficientes (baixo CAR) gastaram maior tempo ruminando, aproveitando os alimentos de forma mais eficiente.

...animais mais eficientes tiveram menores níveis sanguíneos de ureia, cortisol e insulina, e maiores níveis de triglicérides; essas respostas possivelmente estão relacionadas com a reciclagem dos tecidos, mudanças na composição corporal e uma resposta ao estresse.

Fontes de Variação Metabólica da Eficiência Alimentar

São necessários mais estudos para compreender os fatores metabólicos e a participação de cada um nas diferenças de eficiência alimentar entre os animais. Esse entendimento facilitará as melhores estratégias de manejo dos animais e o maior avanço nos programas de melhoramento genético. Na Tabela 1 são apresentadas as principais fontes de variação metabólica do consumo alimentar residual.

De acordo com o estudo conduzido por Herd *et al.* (2004), cerca de 10%, 9%, 5% e 10% da variação observada no CAR em gado de corte pode vir da digestão, do incremento calórico, composição corporal e diferenças de atividade física, respectivamente. Dessa forma, 66% da variação do CAR em bovinos de corte permanecem sem resposta. Porém, segundo os autores, essa variação pode estar relacionada à energia requerida por processos biológicos, como bombeamento de prótons na mitocôndria, *turnover* proteico e bombeamento de íons.

Animais com baixo CAR demonstram melhor digestibilidade, com menor perda de energia fecal. De acordo com Nkrumah *et al.* (2006), animais com baixo CAR apresentaram menores perdas de energia fecal e metano, porém as perdas energéticas via urina foram semelhantes às dos animais CAR positivo, o que correspondeu a uma diferença de 6,3% em energia metabolizável entre animais de baixo e de alto CAR. Hegarty *et al.* (2007)

também encontraram uma diferença em perda de energia em metano quando animais foram alimentados *ad libitum*. Paddock (2010) concluiu que a maior variância do CAR é provavelmente relacionada aos gastos de energia entre os animais.

Estudos com gado de corte em crescimento têm demonstrado que 4 a 9% da variação no CAR está associada a diferenças na composição da carcaça (Lancaster *et al.*, 2009). Correlações genéticas positivas de baixas a moderadas entre as características de carcaça e gordura mostram que bezerros com baixo CAR têm composição corporal ligeiramente mais magra. Esse fato poderia causar

...os principais fatores que afetam a partição de energia nos ruminantes são: nível de consumo alimentar, condições ambientais, gasto energético ou produção de calor (PC), nível de produção de leite ou ganho em tecido corporal e variabilidade individual ... com respeito à eficiência de utilização de energia para manutenção e produção.

uma preocupação de que a seleção para CAR poderia levar a um rebanho mais magro; porém, ajustando o modelo para algumas características de carcaça, pesquisadores poderiam explicar essas diferenças na composição corporal. A variação no CAR pode ser explicada pelas diferenças nas taxas de crescimento e composição corporal, sugerindo que a maior parte da variação da energia metabolizável total (EMT) entre bovinos

em crescimento com fenótipos de baixo e de alto CAR estão provavelmente associadas a diferenças entre produção de calor (PC) entre animais.

De acordo com Brosh (2007) os principais fatores que afetam a partição de energia nos ruminantes são: nível de consumo alimentar, condições ambientais, gasto energético ou produção de calor (PC), nível de produção de leite ou ganho em tecido corporal e variabilidade individual entre animais com respeito à eficiência de utilização de energia para man-

Tabela 1. Fontes de variação metabólica do consumo alimentar residual (CAR) em bovinos de corte

Característica	Descrição	Correlação com CAR
Requisito de energia metabolizável	Menos energia é usada nos processos fisiológicos para os requisitos de manutenção para animais de baixo CAR (Castro Bulle <i>et al.</i> , 2006).	0,421 (P <0,10)
Composição corporal (ganho de gordura)	Animais de baixo CAR têm menor teor de gordura no corpo e maior teor de proteína; assim, há uma correlação positiva entre CAR e ganho de gordura. Tamanho de vísceras é um grande fator que contribui para aumentar a produção de calor e uso de energia. Animais de baixo CAR têm menores órgãos viscerais (Herd e Arthur, 2008)	0,375 (P <0,10)
Ingestão de matéria seca (IMS)	Machos de alto CAR consumiram 17%-18% a mais que os animais de baixo CAR (Castro Bulle <i>et al.</i> , 2006; Lancaster <i>et al.</i> , 2009).	0,44 (P <0,001)
Digestibilidade	A digestibilidade pode ser influenciada pela variação em fatores como comportamento de alimentação, tempo de retenção no rúmen, mecanismo de digestão e absorção. Animais de baixo CAR têm melhor digestibilidade de matéria seca do que animais de alto CAR (Oddy e Herd, 2001).	-0,33 a -0,44
Produção de calor (PC)	Diferença de até 21% em PC existe entre animais de baixo e de alto CAR. Órgãos viscerais são responsáveis por 40%-50% de PC. Animais de alto CAR têm níveis mais elevados de PC e também maior tamanho de órgãos viscerais (Basarab <i>et al.</i> , 2003; Nkrumah <i>et al.</i> , 2006).	0,68
Atividade	10% da variação do CAR podem ser explicados pela atividade física em machos em crescimento. Duração de permanência no cocho de animais de baixo CAR é de 25min/dia menor que animais de alto CAR (Richardson <i>et al.</i> , 2004; Lancaster <i>et al.</i> , 2005).	0,32
Produção de metano	Animais de baixo CAR produzem 28% menos metano que os de alto CAR. Produção de 16.100L menos metano/ano. Há associação positiva entre a ingestão de energia e produção de metano (Nkrumah <i>et al.</i> , 2006).	0,44
Turnover de proteína	Os animais com maiores requisitos de manutenção têm maior volume de <i>turnover</i> de proteína. Animais de baixo e de alto CAR produzem tecido corporal na mesma taxa, porém animais de baixo CAR podem ter volume de <i>turnover</i> de proteína reduzido (Richardson e Herd, 2004).	0,44

Adaptado de Hendricks *et al.* (2013).

tença e produção. Ao calcular o equilíbrio energético do animal, a produção de calor se apresenta como um componente substancial do balanço de energia dos ruminantes.

Considerações Finais

Tecnologias de precisão têm possibilitado a qualificação de fenótipos para eficiência alimentar, permitindo o entendimento da variabilidade individual. Assim, será possível incorporar essas características nos programas de melhoramento e impactar positivamente no desempenho econômico e ambiental dos sistemas de produção.

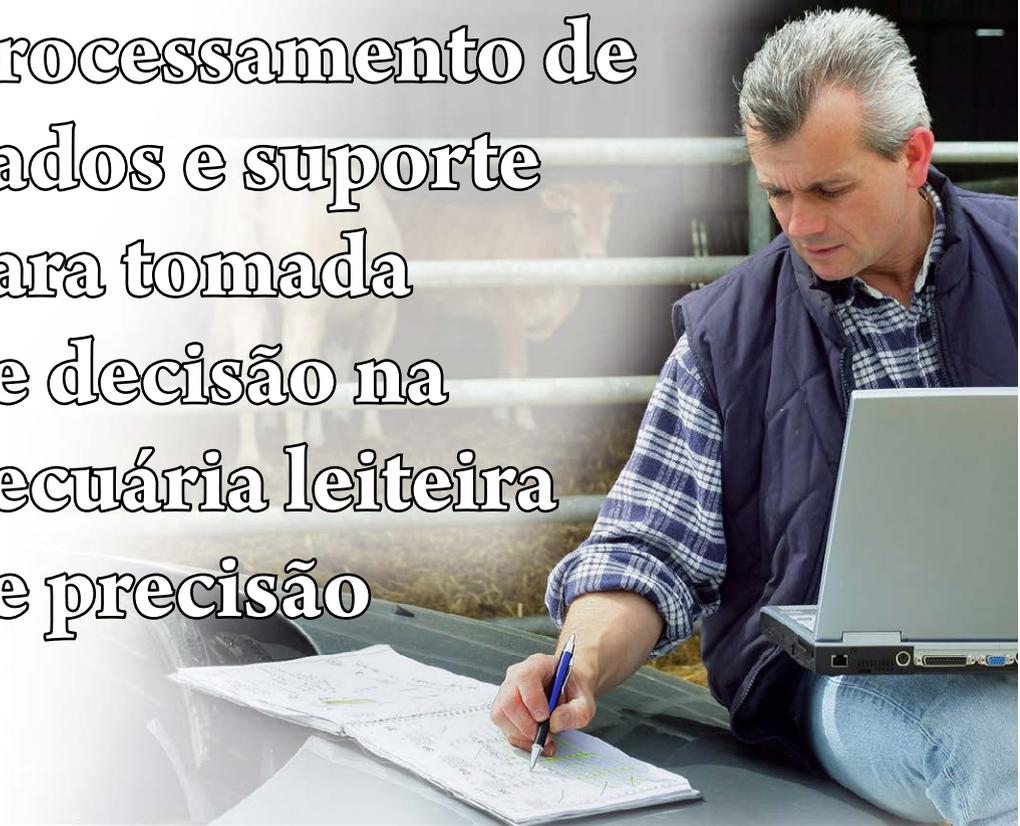
Métodos alternativos indiretos que envolvem o uso de dispositivos de precisão, como a termografia por infravermelho, avaliação de produção de calor e frequência cardíaca, são capazes de prever CAR e podem ser exploradas para a identificação da variabilidade entre animais.

Referências Bibliográficas

1. ALMEIDA, R. *Consumo e eficiência alimentar de bovinos em crescimento*. 2005. 181 f. Tese (Doutorado em Ciência Animal e Pastagens). Escola Superior de Agricultura "Luiz de Queiroz". Universidade de São Paulo. Piracicaba.
2. BASARAB, J.A., PRICE, M.A., AALHUS, J.L., et al, Residual feed intake and body composition in young growing cattle. *Can. J. Anim. Sci.* 83, 189-204.2003.
3. BELLMANN, O., WEGNER, J., REHFELDT, C, et al, Beef versus dairy cattle: a comparison of metabolically relevant hormones, enzymes, and metabolites. *Livestock Production Science*, v. 89, n. 1, p. 41- 54, 2004.
4. BROSH, A. Heart rate measurements as an index of energy expenditure and energy balance in ruminants: A review. *J Anim Sci*, 85: 1213-1227.2007.
5. CASTRO BULLE, F.C.; PAULINO, F.C.P.; SANCHES, A.C. et al, Growth, carcass quality, and protein and energy metabolism in beef cattle with different growth potentials and residual feed intakes. *J Anim Sci*, 85: 928-936. 2007.
6. CHIZZOTTI, M. L., F. S. MACHADO, E. E. L. VALENTE, L. G. R. PEREIRA, M. M. CAMPOS, T. R. TOMICH, S. G. COELHO, AND M. N. RIBAS. Technical note: validation of a system for monitoring individual feeding behavior and individual feed intake in dairy cattle. *J DAIRY SCI.* 98:3438-3442. 2015.
7. COLEMAN, J., BERRY, D.P., PIERCE, K.M. et al. Dry matter intake and feed efficiency profiles of 3 genotypes of Holstein -Friesian within pasture-based systems of milk production. *J. Dairy Sci.*, v.93, p.4318-4331, 2010.
8. COLYN, J.J. *Relationship of Radiated Heat Loss Measured by Infrared Thermography to Residual Feed Intake in Beef Heifers*. 2013.111p (Doctoral dissertation, University of Alberta).
9. CUNNINGHAM, J.G. *Tratado de fisiologia veterinária*. Rio de Janeiro: Guanabara Koogan, 2004.p.579.
10. EGAWA, L. T. Desempenho, comportamento ingestivo e reatividade de fêmeas nelore classificadas pelo consumo alimentar residual. 2012. 87 f. Dissertação (Mestrado) - Instituto de Zootecnia APTA/SAA, Nova Odessa, SP, 2012.
11. FAO. FOOD AND AGRICULTURE ORGANIZATION OF THE UNITED NATIONS. FAO statistical databases. Rome, 2006. Disponível em <http://faostat.fao.org>. Acesso em 15 de setembro de 2015.
12. FOULADI-NASHTA A.A. & CAMPBELL K.H.S. Dissociation of oocyte nuclear and cytoplasmic maturation by the addition of insulin in cultured bovine antral follicles. *Reproduction*, v. 131, n.3,p. 449-460, 2006.
13. GUIMARÃES JÚNIOR, R., MARCHAO, R.L., VILELA, L., PEREIRA, L.G.R. Produção animal na integração lavoura-pecuária. In: Simpósio Mineiro de Nutrição de Gado de Leite, 5., 2010, Belo Horizonte. Anais... Belo Horizonte: UFMG. p. 111-123, 2010.
14. HAFLA, A.N., CARTENS, G.E., FORBES, T.D.A., et al. Relationships between postweaning residual feed intake in heifers and forage use, body composition, feeding behavior, physical activity, and heart rate of pregnant beef females. *J Anim Sci*, 91: 5353-5365. 2013.
15. HEGARTY, R.S., GOOPY, J.P., HERD, R. M. & McCorkell, B., Cattle selected for lower residual feed intake have reduced daily methane production. *J Anim. Sci.* 85, 1479-1486. 2007.
16. HENDRIKS J, SCHOLTZ MM, NESER FWC (2013) Possible reasons for differences in residual feed intake: An overview. *South Afr J Anim Sci* 43: s103-s106.
17. HERD, R.M. & ARTHUR, P.F., 2008. Physiological basis for residual feed intake. *J. Anim. Sci.* 87, 64-71.
18. HERD, R. M.; ODDY, V. H. AND RICHARDSON, C. 2004. Biological basis for variation in residual feed intake in beef cattle. 1. Review of potential mechanisms. *Aust J Exp Agr*, 44: 423-430.
19. KELLY, A.K.; McGEE M.; CREWS D. H.; FAHEY A. G., WYLIE A. R.; KENNY D. A. Effect of divergence in residual feed intake on feeding behavior, blood metabolic variables, and body composition traits in growing beef heifers. *Journal of Animal Science*, v.88, p.109-123, 2009.

20. KOCH, R.M.; SWIGER, L.A.; CHAMBERS, D. AND GREGORY, K.E. 1963. Efficiency of feed use in beef cattle. *J Anim Sci*, 22: 486-494.
21. LANCASTER, P.A.; CARSTENS, G.E.; RIBEIRO, F.R.B.; TEDESCHI, L.O. AND CREWS, D.H. 2009. Characterization of feed efficiency traits and relationships with feeding behavior and ultrasound carcass characteristics in growing bulls. *J Anim Sci*, 87: 1528-1539.
22. LANCASTER, P.A., CARSTENS, G.E., CREWS, D.H. & WOODS, S.A., 2005. Evaluation of feed efficiency traits in growing bulls and relationships with feeding behavior and ultrasound carcass estimates. *Proc. West. Sect. Am. Soc. Anim. Sci.* 56, 461-464.
23. LEÃO J.M., MACHADO F.S., FERREIRA A.L. et al. Energy expenditure in crossbred (Holstein x Gyr) calves differing in phenotypic residual feed intake. *J. Anim. Sci.* Vol. 93, Suppl. s3/J. Dairy Sci. Vol. 98, Suppl. 2. W 381. p.752-753. 2015.
24. LOBLEY, G. E. Control of the metabolic fate of amino acids in ruminants: a review. *Journal of Animal Science*, n.70, p.3264-3275, 1992.
25. MONTANHOLI Y.R., SWANSON K.C., MILLER S.P., PALME R. AND SCHENKEL F.S. Relationships between residual feed intake and infrared thermography and glucocorticoid levels in feedlot steers from three different sire breeds. *Canadian J Ani Sci* v.88, p.179. 2007.
26. MONTANHOLI Y.R., ODONGO N.E., SWANSON K.C., SCHENKEL F.S., MCBRIDE B.W. AND MILLER S.P. Application of infrared thermography as an indicator of heat and methane production and its use in the study of skin temperature in response to physiological events in dairy cattle (*Bos taurus*). *Journal of Thermal Biology* v.33, p.469-475. 2008.
27. MONTANHOLI Y.R., SWANSON K.C., SCHENKEL F.S., MCBRIDE B.W., CALDWELL T.R., MILLER S.P. On the determination of residual feed intake and associations of infrared thermography with efficiency and ultrasound traits in beef bulls. *Livest Sci* v.125, p.22-30. 2009.
28. MONTANHOLI, Y. R., K. C. SWANSON, R. PALME, F. S. SCHENKEL, B. W. MCBRIDE, D. LU, AND S. P. MILLER. Assessing feed efficiency in beef steers through feeding behavior, infrared thermography and glucocorticoids. *Anim. Sci.* v.4, p.692. 2010.
29. NKRUMAH, J.D.; OKINE, E.K.; MATHISON, G. W.; SCHMID, K.; LI, C.; BASARAB, J.A.; PRICE, M.A.; WANG, Z. AND MOORE, S.S. 2006. Relationships of feedlot feed efficiency, performance, and feeding behaviour with metabolic rate, methane production, and energy partitioning in beef cattle. *J Anim Sci*, 84: 145-153.
30. NKRUMAH, J.D.; BASARAB, J.A.; WANG, Z.; LI, C.; PRICE, M.A.; OKINE, E.K.; CREWS, D.H. AND MOORE, S.S. 2007. Genetic and phenotypic relationships of feed intake and different measures of feed efficiency with growth and carcass merit of beef cattle. *J Anim Sci*, 85: 2711-2720.
31. NATIONAL RESEARCH COUNCIL - NRC. Nutrient requirements of dairy cattle. 7.rev.ed. Washinton, D.C.: 2001. 381p.
32. ODDY, V.H. & HERD, R.M., 2001. Potential mechanisms for variation in efficiency of feed utilization in ruminants. In: Proc. Feed Efficiency Workshop. Univ. New England, Australia. pp. 30-34.
33. PADDOCK, Z.D. 2010. Energy expenditure in growing heifers with divergent residual feed intake phenotypes. effects and interactions of metaphylactic treatment and temperament on receiving steers. Thesis (Master of Science). Texas A&M University. College Station. Texas, EUA. 62 pp.
34. RICHARDSON, E.C. & HERD, R.M., 2004. Biological basis for variation in residual feed intake in beef cattle. 2. Synthesis of results following divergent selection. *Aust. J. Exp. Agric.* 44, 431-440.
35. RICHARDSON, E.C., HERD, R.M., ARCHER, J.A. & ARTHUR, P.F. Metabolic differences in Angus steers divergently selected for residual feed intake. *Aust. J. Exp. Agric.* 44, 441-452. 2004.
36. SANTOS, G. P., *Eficiência alimentar, parâmetros sanguíneos e comportamento ingestivo de machos e fêmeas da raça Nelore*. 2014. 66 f. Dissertação (Mestrado) - Instituto de Zootecnia APTA/SAA, Nova Odessa, SP, 2014.
37. VOLP, A.C. P., REZENDE F. A. C. & ALFENAS R. C. G. Insulina: mecanismo de ação e a homeostase metabólica. *Revista Brasileira Nutrição Clínica*, v. 23, n.2, p.158-64, 2008.
38. YAN, T.; MAYNE, C.S.; GORDON, F.G. Mitigation of enteric methane emissions through improving efficiency of energy utilization and productivity in lactating dairy cows. *Journal of Dairy Science*, v.93, p.2630-2638, 2010.
39. ZIEBA, D.A.; AMSTALDEN, M.; WILLIAMS, G.L. Regulatory roles of leptin in reproduction and metabolism: a comparative review. *Domestic Animal Endocrinology, Amsterdam*, v. 29, p. 166-185, 2005.

Processamento de dados e suporte para tomada de decisão na pecuária leiteira de precisão



bigstockphoto.com

Luigi Francis Lima Cavalcanti¹ - CRMV-MG 10610

Marcelo Neves Ribas² - CRMV-MG 8208

Luiz Gustavo Ribeiro Pereira³ - CRMV-MG5930

¹ Médico Veterinário, Doutor em Zootecnia, Bolsista CNPq – RHA E, Projeto Intergado/Seva (luigi.cavalcanti@intergado.com.br) – CRMV-MG: 10610

² Médico Veterinário, Doutor em Zootecnia, Bolsista CNPq – RHA E Seva Engenharia, Diretor-Executivo Intergado Tecnologia (marcelo@intergado.com.br) – CRMV-MG: 8208

³ Médico Veterinário, Doutor em Ciência Animal, Pesquisador da Embrapa Gado de Leite (luiz.gustavo@embrapa.br) – CRMV-MG: 1000

1. Introdução

A pecuária de precisão baseia-se intrinsecamente na coleta de dados de modo refinado, com maior frequência e de forma automatizada. Esse processo intenso tem como conse-

A pecuária de precisão baseia-se intrinsecamente na coleta de dados de modo refinado, com maior frequência e de forma automatizada.

quência imediata a geração de bancos de dados que devem ser interpretados eficien-

temente com o intuito de prover aos usuários suporte para tomadas de decisão. Caso esse objetivo final (i.e., embasar tomadas de decisão) não se torne possível, corre-se o risco de in-

validar ou tornar obsoletas todas as etapas anteriores e, dessa forma, todo o esforço despendido desde a identificação do problema, passando por desenvolvimento de sensores e algoritmos que consigam monitorá-lo, até a geração da informação em si podem ter sido em vão. Embora esse objetivo seja claro, alcançá-lo não é tarefa simples e implica custo associado a investimento em tempo, experimentação, desenvolvimento e aplicação de tecnologias e recursos humanos qualificados.

Rutten *et al.* (2013) revisaram 126 trabalhos publicados e encontraram relatos de utilização de 139 dispositivos para monitoramento do manejo sanitário em sistemas leiteiros, mas nenhum atingiu o objetivo final de aconselhar o fazendeiro ou técnico em suas decisões, ou mesmo integrar as leituras dos dispositivos de forma a gerar informações capazes de dar suporte a decisões, tendo os autores concluído que muito se tem feito para o desenvolvimento de dispositivos, mas pouco tem sido aplicado para de fato auxiliar no manejo dos animais. Esse cenário é coerente com um questionário realizado em fazendas no estado do Kentucky, EUA, onde 35% dos respondentes concordaram que o excesso e o não saber lidar com a informação contribuíram como causas da lenta adoção de tecnologias de pecuária de precisão (Bewley e Russel, 2010).

Esta revisão tem como o objetivo descrever de forma generalizada, independentemente do tipo de sensor ou utilidade de dispositivos, as etapas consecutivas à coleta de dados, caracterizando o desenvolvi-

O advento do fenômeno conhecido como “internet das coisas” resultou em uma geração exponencial de dados, consequência da popularização de dispositivos capazes de gerá-los tais quais celulares, computadores domésticos, ferramentas de empresas e objetos em um estoque.

to de algoritmos, processamento dos dados, e geração de informações que darão suporte para tomada de decisão.

2. Geração e coleta de dados

O advento do fenômeno conhecido como “internet das coisas” resultou em uma geração exponencial de

dados, consequência da popularização de dispositivos capazes de gerá-los tais quais celulares, computadores domésticos, ferramentas de empresas e objetos em um estoque. Esse excesso de informação demanda grande habilidade de pesquisadores e cientistas para que se consiga extrair informação útil. Esse recurso humano deve ser dotado de habilidades da área de estatística, mas também da área da origem do problema que está sendo debatido. Em alguns momentos, a distância entre essas duas áreas se torna tão grande que se faz premente a formação de equipes interdisciplinares para que se crie a solução ideal.

No âmbito do agronegócio, a entrada de dispositivos desse tipo se tornou popular primeiramente no meio agrícola, com a entrada de sensores capazes de comunicar com o Sistema de Posicionamento Global (GPS) e a implementação de *software* habilitados com ferramentas de georreferenciamento. Esse tipo de mapeamento digital em tempo real garante aos seus usuários a capacidade de identificar eficientemente cada gleba de terra e, portanto, subdividir custos, receitas e tomadas de decisão conforme a performance de cada setor da propriedade. Esse processo de individualização, a base da agricultura de precisão, permite ações como aplicações específicas tanto quantitativa quanto qualitativamente

de adubos e pesticidas, uso mais eficiente de implementos, entre outros quesitos que antes seriam utilizados de forma mais generalista. Esse tipo de ação fomenta, entre outras vantagens, a uniformidade da produção e efeitos colaterais positivos, como o direcionamento do uso de herbicidas apenas em regiões de maior demanda, reduzindo custos diretos e indiretos, como o impacto ambiental dos resíduos do mesmo.

Seguindo a mesma tendência, algumas tecnologias de pecuária de precisão passaram a ser adotadas corriqueiramente por fazendas leiteiras brasileiras: ordenhadeiras mecânicas que registram produção e condutividade elétrica do leite produzido pelos animais, balanças de passagem que estimam o peso vivo dos animais bem como as variações de peso ao longo do tempo e sensores de atividades que, a partir da contagem de passos, detectam animais em estro. Outras tecnologias de precisão estão sendo desenvolvidas e avaliadas em centros de pesquisa e precisam de um maior tempo de maturação para que sejam adotadas em propriedades comerciais, como sensores que registram consumo de alimentos e água, comportamento alimentar, frequência cardíaca e respiratória, temperatura corporal, pH ruminal, atividade e posição dos animais, entre outros.

3. Extração do conhecimento

O aumento exponencial de dados coletados automaticamente por dispositivos eletrônicos nas atividades agropecuárias traz como consequência direta a geração de grandes conjuntos de dados. Para que essa coleta tenha significado, a massa de dados

deverá ser cuidadosamente analisada e interpretada para que se chegue à informação de interesse.

Vários autores tentaram formalizar esse processo de interpretação por meio de esquemas e teorias. Destaca-se dentre estes o fluxograma denominado Extração do Conhecimento (do inglês, *Knowledge Discovery in Database* ou *KDD*). Embora esse termo tenha se tornado mais corriqueiro nos últimos anos, seu conceito foi formalizado no final da década de 1980 e baseia-se em um processo de várias etapas, não trivial, iterativo e interativo, para a identificação de padrões compreensíveis, válidos, novos e potencialmente úteis a partir de grandes conjuntos de dados (Fayyad *et al.*, 1996).

Para que essa coleta [de dados] tenha significado, a massa de dados deverá ser cuidadosamente analisada e interpretada para que se chegue à informação de interesse.

A designação “não trivial” implica que o processo de KDD é passível de inferência, e isso revela que essa metodologia é dependente da capacidade do analista em interpretar o fenômeno, ou seja, não se baseia somente em cálculo de médias ou desvios padrão.

O termo “iterativo” denota que o processo como um todo é passível de repetição e ensaios do tipo tentativa e erro, ou seja, demanda que o executor avalie o problema por várias óticas, aplicando diferentes técnicas ou algoritmos quantas vezes preciso for para que se atenda ao objetivo primordial com acurácia e precisão.

O diagrama apresentado na Figura 1 resume as etapas do KDD. Como pode ser observado, a primeira etapa consiste em retirar do banco de dados os fragmentos ou *subsets* de interesse. No caso da pecuária de precisão, essa etapa é crucial, pois favorecerá o processo de integração dos dados brutos. Isso porque é muito comum que dados sejam coleta-

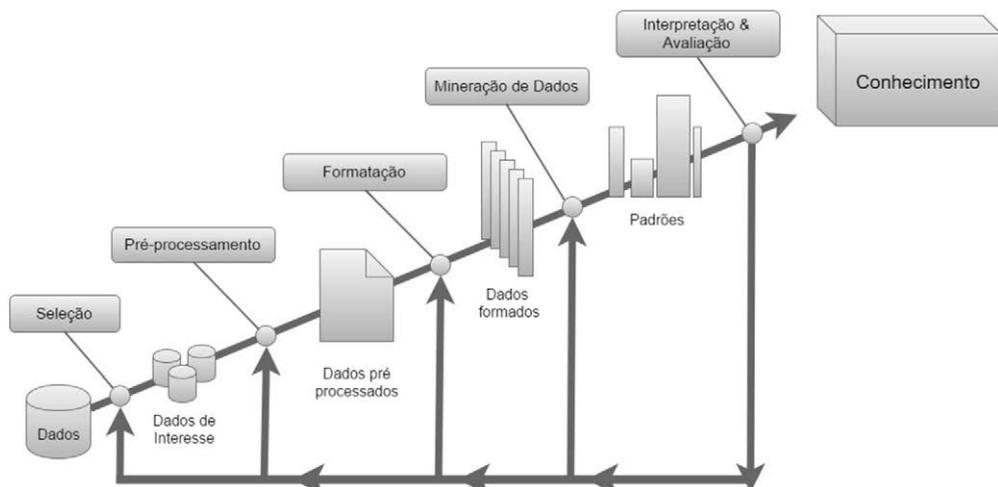


Figura 1. Diagrama de formalização do processo de extração de conhecimento, do inglês, *Knowledge Discovery from Database*. Adaptado de Fayyad et al. (1996).

dos por diferentes dispositivos, e muitas vezes esses sensores são produzidos por diferentes fabricantes. Nesse sentido, a seleção passa a ser essencial, uma vez que cada dispositivo irá retornar diferentes arquivos, com diferentes formatos, e muitas vezes com padrões diferentes de unidade (e.g., padrões de data/horário: padrão americano – mês/dia/ano *versus* brasileiro – dia/mês/ano).

Como exemplo, pode ser citado o caso de sensores que produzem séries temporais (i.e., dados em função do tempo) para comportamento (e.g., pedômetros) e sensores para condições atmosféricas (i.e., temperatura, umidade, etc.). Nesse exemplo, muitas vezes almeja-se correlacionar eventos climáticos com possíveis respostas animais. Esse tipo de integração requer que os dados coletados por ambos os sensores estejam contidos em um mesmo conjunto de dados, devidamente indexados e sincronizados. A indexação se refere à identificação dos dados, ou seja, certo dado foi obtido pelo pedômetro, que estava no animal “A” no horário “X”. Nesse mesmo horário “X”, o sensor

2 coletava dados relativos ao clima em que o animal “A” estava submetido. Esse tipo de integração se torna mais complexa com o aumento da quantidade de dispositivos envolvidos e susceptível a erros. Como exemplos dessa vulnerabilidade, um cadastro incorreto de um animal em uma das plataformas pode causar não pareamento de dados; por outro lado, a assincronia dos relógios dos sensores pode gerar atribuição indevida (e.g., para um outro animal ou evento que não os que originaram o dado coletado). Assim, cabe ao analista conscientizar a equipe de campo sobre a responsabilidade da qualidade de coleta de dados e exigir que a mesma saiba manusear e utilizar corretamente todos os dispositivos. Falhas nesse nível podem inviabilizar todas as etapas *a posteriori*.

Após a seleção dos dados, procede-se ao pré-processamento. Essa etapa é marcada pelo ajuste de variáveis, transformações de unidades, identificação de dados faltantes, eliminação de dados ruidosos e identificação de *outliers*. Muitos equipamentos possuem algoritmos internos (i.e., não completamente con-

trolados pelo usuário) que se destinam a realizar esse tipo de pré-processamento. Embora esse procedimento automatizado reduza o trabalho do analista, e frequentemente torne os dados mais limpos, pode mascarar falhas dos sensores ou, muitas vezes, dificultar o casamento e integração da informação com outros dispositivos.

Embora o procedimento automatizado reduza o trabalho do analista, e frequentemente torne os dados mais limpos, pode mascarar falhas dos sensores ou, muitas vezes, dificultar o casamento e integração da informação com outros dispositivos.

Cabe aqui salientar que os dados podem ser de qualquer natureza, incluindo imagens, que podem ser pré-processadas para obtenção de dados como biometria animal e temperatura (câmeras termográficas). Esse tipo de procedimento foi, por exemplo, utilizado para determinação da angulação de dorso de vacas ao se locomoverem com o intuito de prever escores de claudicação (Viazzi *et al.*, 2013). Esse tipo de dado requer intenso e eficiente pré-processamento para obtenção dos dados.

As etapas seguintes do fluxograma do KDD não são muito comuns na pecuária de precisão. Segundo Fayyad *et al.* (1996), elas consistem na formatação e mineração de dados, cujo objetivo é buscar padrões no banco por meio de técnicas como: redução de dimensão por eliminação de variáveis (*e.g.*, componentes principais), transformação de variáveis (conversões lógicas, criação de classes) e por fim métodos clássicos como correlações, classificação (*i.e.*, análise de *cluster*), regressões de “Ridge” e árvores de decisão. Algumas típicas da área conhecida como aprendizagem de máquina (do inglês, *machine learning*) que, com base em uma parcela dos dados, envolve treinar o computador para que chegue a uma resposta baseada no cenário criado pela interseção de variáveis de entrada. Usam-se nesse processo de treinamento vários algoritmos, empregados para avaliação no restante do

banco de dados. Esse tipo de procedimento é conhecido como aprendizado supervisionado, visto que existe um padrão ouro para que se avalie a capacidade do modelo criado. Existem ainda métodos não supervisionados, que visam, a partir de características similares, classificar resultados. Como exemplo, pode-se citar as análises

de *cluster*, que têm como objetivo criar uma rede de similaridade entre possíveis classes.

As análises supracitadas dependem da integração de muitas variáveis, e até então poucos trabalhos avaliaram essas técnicas no âmbito da pecuária leiteira, usando dados não completamente coletados de forma automática, e com sucesso questionável (Shahinfar *et al.*, 2014a; Shahinfar *et al.*, 2014b). Segundo Rutten *et al.* (2013), a maioria dos dispositivos encontrados no mercado para detecção ou auxílio no manejo sanitário de rebanhos leiteiros falham no quesito integração de dispositivos. Esse cenário limita a aplicação de ferramentas como o aprendizado de máquina e análises multivariadas, sendo explicável do ponto de vista das empresas fabricantes, que tentam normalmente desenvolver solução para um problema específico, e poucas conseguem criar um pacote para a atividade como um todo. Nesse contexto, o diagrama proposto por esses autores é mais coerente com o que atualmente ocorre com os dados obtidos na pecuária de precisão leiteira (Fig. 2).

No diagrama (Fig. 2), o processo de geração de suporte para tomadas de decisão a partir de dados coletados automaticamente por um sensor é dividido em quatro estágios. No primeiro, o sensor captura dados a partir de um animal ou do ambiente. É possível que algum algoritmo atue junto ao *hardware* para

que o dado seja gerado. Exemplo disso são as balanças que trabalham com células de carga. Esses sensores trabalham gerando alterações de tensão (voltagem) e esta é linearmente convertida em unidades de massa por métodos de calibração. Esse tipo de conversão (volts para kg) caracteriza um algoritmo interno. A depender do recurso do equipamento, é possível que leituras consideradas fora de uma faixa específica sejam eliminadas ou gerem alertas, que podem representar erros de calibração (*i.e.*, o fator de conversão utilizado durante a calibração pode não estar correto ou não mais ser adequado, por exemplo, caso o sensor tenha fadigado). Caso os dados brutos não sejam passados para o banco exportado pelo dispositivo, o analista poderá não conseguir caracterizar esses tipos de *outlier*, e a informação poderá ficar de alguma forma viesada.

No próximo nível, os dados gerados são

interpretados por algoritmos previamente validados e um *status* é gerado, ou um valor é computado (*e.g.*, o animal está em estro). Esse tipo de algoritmo é também denominado modelo preditivo (um *status* é previsto a partir dos dados). Para esse tipo de informação, é essencial o processo de validação, geralmente realizada pela metodologia de comparação dos *outputs* com um padrão ouro; mas, com o advento do sensor, o processo tornou-se mais efetivo, embora passível de questionamentos, pois numa perspectiva simplista trataria de um caso de falso positivo, isto é, o algoritmo em teste marcou como positivo ou presente um fenômeno que para o padrão ouro seria negativo. Assim, é preciso cautela e bom senso, pois pode caracterizar supervalorização das capacidades do sensor, o que não é bem aceito pela comunidade científica. A melhor saída é utilizar como padrão ouro métodos o mais sensível possível. Uma vez

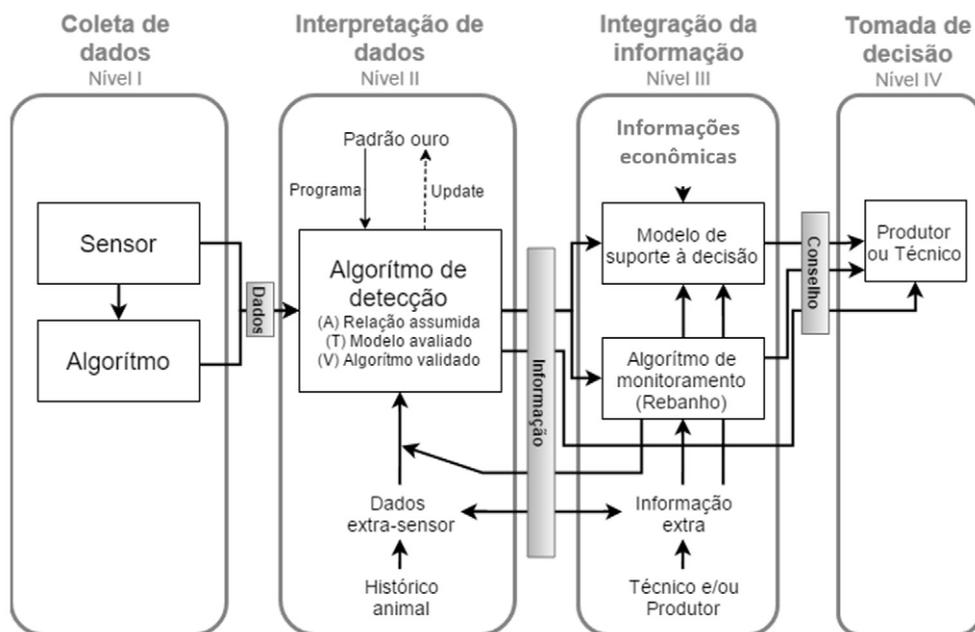


Figura 2 – Diagrama do fluxo de dados e informações desde o processamento de dados coletados automaticamente à tomada de decisão pelo produtor e/ou equipe. Adaptado de Rutten *et al.* (2013).

que o algoritmo seja aceito, novas validações deverão ser realizadas tão frequentes quanto possível for, de forma a aumentar cada vez mais a sensibilidade e especificidade do algoritmo de detecção. Muitas vezes, para se aumentar a acurácia dos dispositivos, a adição de informações obtidas *a priori* podem ser úteis, ainda que não advenham de sensores. Como exemplo pode-se citar o histórico de cios detectados. O intervalo relativamente regular do ciclo estral é uma informação bastante interessante, pois facilita a busca por comportamentos em intervalos regulares. O final da etapa 2 no fluxograma é caracterizado pela síntese da informação em si, objetivo similar ao processo de KDD. Os níveis 3 e 4 descritos por Rutten *et al.* (2013) são relativos à tomada de decisão.

O desenvolvimento de algoritmos preditivos requer habilidade estatística e entendimento dos conceitos básicos sobre modelagem de fenômenos. Nesse caso, o analista deve ter ampla capacidade de observação e abstração, além de ter foco na demanda proposta. É muito comum desviar-se da meta inicial durante o processo de modelagem, podendo, portanto, levar a conclusões não desejadas, além de perda de tempo e esforço (Tedeschi *et al.*, 2005).

Como passo inicial, o modelista deverá ser capaz de descrever o fenômeno por meio das variáveis coletadas, tendo a habilidade de reconhecer as distribuições das mesmas e características como instabilidade, variância, correlação entre elas, multicolinearidade, entre outros atributos que lhe permitirão aplicar às mesmas a técnica estatística mais adequada. Muitas vezes, a seleção de variáveis poderá ser essencial. Segundo o princípio reducionista conhecido como a “Navalha de Occam”, a

O desenvolvimento de algoritmos preditivos requer habilidade estatística e entendimento dos conceitos básicos sobre modelagem de fenômenos.

explicação de qualquer fenômeno deve assumir apenas as premissas estritamente necessárias à explicação do mesmo, de forma que as entidades não sejam adicionadas ao problema além da necessidade. Colocar essa

filosofia em prática implica reduzir ao máximo o nível de complexidade, ou dimensões geradas por variáveis desnecessárias, sem que se perca qualidade preditiva. Vários métodos estatísticos foram desenvolvidos para esse propósito, entre eles um dos mais populares na estatística aplicada a modelos lineares é o conhecido como método de regressão *stepwise*. Esse método de busca é caracterizado pelo ajuste de modelos de regressão em sequência onde cada uma das variáveis candidatas é adicionada a cada passo, e os modelos ajustados podem então ser comparados por várias técnicas como erros quadráticos médios, coeficientes parciais de correlação, estatística t ou F, critérios de Akaike ou Schwarz, entre outros (Kutner *et al.*, 2005). No âmbito da estatística multivariada, o uso da análise de componentes principais visa explicar a estrutura de variância-covariância das variáveis envolvidas por meio de poucas combinações lineares, resultando em redução de dados e possíveis inferências, como exemplo, quais variáveis são mais “impactantes” para o fenômeno (Wichern e Johnson, 2007).

Passada a etapa de ajuste, torna-se premente a avaliação dos modelos. Segundo Tedeschi (2006), o termo “validação” deve ser preterido nesses casos; pois, do ponto de vista filosófico, modelos são representações abstratas da realidade, de forma que nunca poderão mimetizar completamente a realidade em qualquer condição, dessa forma jamais será totalmente verdadeiro, correto e, portanto, válido. Uma interessante discussão a respeito

dessa temática foi apresentada por Sterman (2002) no texto “All models are wrong”, em que se tentou esclarecer como o mundo que nos cerca é complexo e que devemos ser humildes quanto à qualidade dos modelos. Assim, torna-se mais adequado o termo avaliação ou teste de modelos. Embora subestimada, a avaliação de modelos é etapa fundamental para o sucesso de dispositivos eletrônicos. Isso porque é nessa etapa em que se executaram testes para se avaliar a acurácia e precisão dos modelos que gerarão as respostas à demanda inicial. Modelos muito simples, essencialmente empíricos, podem acabar sendo muito precisos, mas pouco acurados, isto é, muitas vezes serão muito eficientes em prever resultados nas mesmas condições em que foram desenvolvidos, porém, poderão ter desempenhos insatisfatórios em condições adversas. Por outro lado, modelos muito complexos, excessivamente mecanicistas, embora geralmente sejam mais robustos e acurados, podem tornar a coleta de dados inexequível ou muito complexa.

Essa característica de poder preditivo deverá ser sempre estudada, pois essa avaliação trará como resultados não somente melhoras aos futuros modelos como também poderão sinalizar fragilidades dos sensores envolvidos no processo de coleta de dados, apontando lacunas que poderão dar margem ao desenvolvimento de novos dispositivos. No âmbito da estatística quantitativa, Tedeschi (2006) apresentou diversas técnicas e a interpretação das mesmas quando na avaliação de modelos. Do ponto de vista de dispositivos que visem detectar condições lógicas, ou binárias, por exemplo, o animal está doente ou não, em cio ou não, testes clássicos de especificidade e sensibilidade podem ser adequados. Em

Embora subestimada, a avaliação de modelos é etapa fundamental para o sucesso de dispositivos eletrônicos.

ambos os casos, pode-se aplicar a técnica de validação cruzada, cujo método baseia-se no uso de fragmentos de banco de dados para desenvolvimento dos modelos, com posterior uso

dos dados remanescentes como padrão ouro para avaliação dos modelos. Essa técnica é conhecida como *k-fold*, onde um conjunto de dados (k) é particionado em n subconjuntos dos dados ($k/n = k_i$) e o i -ésimo subconjunto é utilizado para desenvolvimento do modelo (ou aprendizado de máquina supervisionado), sendo sua capacidade preditiva sucessivamente avaliada frente aos resultados observados para os dados em $k - k_i$. Esse processo é repetido até que todos os subconjuntos tenham sido utilizados.

Caso um modelo seja aceito frente sua avaliação, pode-se dizer que se extraíram dos dados o conhecimento ou a informação necessária para suportar tomadas de decisão.

4. Tomada de decisão

Modelos de suporte a tomadas de decisão (DSS, do inglês *decision supporting systems*) têm como objetivo principal assistir ao usuário durante a solução de problemas cotidianos, muitas vezes subestimados quanto à sua complexidade. O uso desses modelos traz como benefício simplificar ou apontar soluções mais eficientes para se atingir um objetivo ou mais objetivos concomitantes. O cenário da pecuária leiteira é demasiadamente complexo, e uma miríade de forças são impostas simultaneamente ao sistema (*e.g.*, sustentabilidade social, econômica e ambiental), tornando humanamente impossível manejá-lo ao ponto de atender, de forma equilibrada, a todas essas demandas. Agrava-se nesse cenário o fato de que os níveis de um sistema são altamente integrados,

e interações diversas podem ocorrer, de forma que uma decisão tomada em um nível pode causar distúrbios nos demais. Esse tipo de cenário é altamente propício para aplicação de DSS; todavia, na pecuária leiteira, a adoção dessas ferramentas é muito baixa.

Segundo Newman *et al.* (2000), a baixa adoção desses sistemas deve-se à falta de coerência entre a real demanda dos pecuaristas e as capacidades do sistema e porque muitas vezes a capacidade e habilidade do produtor para operar e abastecer o sistema é insuficiente. Para o último caso, o uso de sensores automáticos, base da pecuária de precisão, tem potencial óbvio de sanar o problema para implementação de DSS em fazendas; entretanto, segundo pesquisa de Rutten *et al.* (2013), dispositivos capazes de prover suporte a esses sistemas são poucos ou inexistentes. Como abordado na Figura 2, esses dispositivos teriam de agir no âmbito dos níveis 3 e 4 do fluxograma proposto, os quais seriam integração da informação e tomada de decisão, respectivamente.

A falha na integração de dispositivos é recorrente entre os produtos disponíveis no mercado, e é uma das queixas de fazendeiros que limitam a adoção da pecuária de precisão (Bewley e Russel, 2010). Como citado anteriormente, as fabricantes têm como principal objetivo sanar problemas pontuais, sendo raros os pacotes de solução que seriam essenciais para a tomada de decisão. Ademais, ferramentas gerenciadoras da informação são escassas no mercado e, devido à quantidade de dados, normalmente são complexas e demandam treinamento e reciclagem constante de usuários. Além disso, sistemas como esses carecem de avaliações econômicas e, portanto, limitam tomadas de decisão eficientes quanto a esse quesito, o que causa insegurança em produto-

Do ponto de vista estatístico, o processo de suporte a tomadas de decisão é uma evolução da clássica abordagem da modelagem preditiva...

res que acabam optando por outras melhorias ou implementos para suas fazendas (Steenefeld e Hogeveen, 2015).

Do ponto de vista estatístico, o processo de suporte a tomadas de decisão

é uma evolução da clássica abordagem da modelagem preditiva, uma vez que o intuito é gerar opções a partir das predições e informações geradas *a priori*, demonstrando os possíveis impactos advindos das decisões tomadas. Esse tipo de técnica é denominado modelagem prescritiva, uma vez que o sistema irá prescrever soluções e atitudes a serem tomadas e, em algumas situações, poderá ele mesmo tomar a decisão diretamente. Esse tipo de situação somente é possível para sistemas altamente sensíveis e específicos, pois para algumas decisões, erros podem ser drásticos. Na pecuária de precisão, sistemas prescritivos automatizados podem ser citados como aqueles em que o animal baseado em dados coletados por dispositivos são colocados em uma lista para apartação, e ao passarem por um corredor (e.g. brete) são automaticamente apartados por portões eletrônicos ou ao menos são identificados por painéis eletrônicos, sirenes, ou algo do tipo, para que o usuário saiba que aquele animal demanda atenção.

Na pecuária de precisão, exemplos desse nível de integração e fluxo bidirecional entre dispositivos e algoritmos em funcionamento ainda são escassos.

5. Exploração das informações

Em cenários de alta complexidade como o manejo de atividades leiteiras, por mais que dados sejam coletados automaticamente, modelos preditivos e prescritivos atuem eficien-

temente e soluções sejam propostas, faz-se essencial o desenvolvimento de ferramentas adequadas para visualização dos dados e interação entre homem e máquina. A evolução acelerada dos dispositivos pessoais portáteis, como *tablets* e *smartphones*, aproximou bastante as aplicações e ferramentas da informática com seus usuários, de forma que muitas pessoas se mantêm conectadas à internet ou redes pessoais 100% do dia. Esse fenômeno é altamente favorável à pecuária de precisão, contudo é essencial, principalmente em telas pequenas como a dos dispositivos móveis, que a informação seja apresentada da forma mais concisa possível, fomentando rápida interpretação e interação intuitiva. Criar interfaces entre máquina e humano é um desafio muito grande e muitos profissionais da área da ciência da informação têm se especializado nessa área que requer não só habilidade com os dados em si, mas também conhecimento de *design* entre outras disciplinas.

Surge nesse contexto a utilização de ferramentas visuais denominadas *dashboards*. Esse termo, que quer dizer painel de avião foi figurativamente adotado por cientistas da comunicação, pois resume o objetivo de seu emprego na visualização de dados, visto que o piloto de avião tem de ter disponíveis aos olhos, ainda que em frações de segundo, todas as informações necessárias para pilotar a aeronave, principalmente em momentos de emergência, para que possa tomar as decisões cabíveis.

Segundo Stephen Few, especialista da área da tecnologia da informação, a maior parte dos *dashboards* desenvolvidos para empresas falham em passar a informação, muitas vezes por *design* pobre, outras por focar em

...faz-se essencial o desenvolvimento de ferramentas adequadas para visualização dos dados e interação entre homem e máquina.

informação não necessária para o monitoramento.

Na pecuária de precisão, *dashboards* têm de ser desenvolvidos para trazer ao usuário as notificações, alertas e *status* de forma clara e direta. Devem, além

disso, ser personalizáveis de acordo com o perfil do usuário, já que diferentes tomadas de decisão deverão ser propostas, assim como as atitudes a serem tomadas. Esse tipo de ferramenta ainda é escasso no mercado, e a maior parte dos *software* trabalham com relatórios tradicionais que requerem muitas vezes interpretação excessiva dos usuários.

6. Considerações finais

A pecuária de precisão envolve mensurações, predições e análise de dados de variáveis dos animais e do ambiente, permitindo um extraordinário fluxo de informações coletadas automaticamente, gerando uma infinidade de possibilidades de controle e intervenções que são impossíveis dentro dos sistemas tradicionais de produção.

Apesar de estar em fase inicial de desenvolvimento e adoção, o avanço tecnológico em diversas áreas tem permitido que novos sensores e equipamentos cheguem à pecuária com custos cada vez mais acessíveis. Entretanto, para que essas novas tecnologias possam auxiliar a rápida tomada de decisões pelos produtores, os dados registrados precisam ser devidamente interpretados por *software* e modelos matemáticos, sendo imprescindível a interdisciplinaridade no desenvolvimento de novas ferramentas úteis ao setor produtivo.

A aplicação dessas novas tecnologias pode ge-

A aplicação dessas novas tecnologias pode gerar grandes modificações dentro da cadeia produtiva...

rar grandes modificações dentro da cadeia produtiva com a criação de novos setores de serviço, novas demandas pelos consumidores, rastreabilidade dos produtos, melhoria na eficiência do uso de recursos, aumento no bem-estar animal e das pessoas que trabalham nas fazendas, redução do impacto ambiental e maior lucro e sustentabilidade ao sistema. A pecuária de precisão mudará a maneira como rebanhos leiteiros serão gerenciados.

7. Referências bibliográficas

- BALDWIN, R. L. *Modeling ruminant digestion and metabolism*. Great Britain: Chapman & Hall, 1995. p.583
- BEWLEY, J. M.; RUSSEL, R. A. *Reasons for Slow Adoption Rates of Precision Dairy Farming Technologies: Evidence from a Producer Survey*. In: The first North American Conference on Precision Dairy Management. Minnessota. 2010. p.
- FAYYAD, U.; PIATETSKY-SHAPIRO, G.; SMYTH, P. From Data Mining to Knowledge Discovery in Databases. *AI Magazine*, v. 17, n. 3, p. 37-54, 1996.
- KUTNER, M. H.; NACHTSHEIM, C. J.; NETER, J.; LI, W. *Applied linear statistical models*. New York: McGraw-Hill/Irwin, 2005.
- NEWMAN, S.; LYNCH, T.; PLUMMER, A. A. Success and failure of decision support systems: Learning as we go. *Journal of Animal Science*, v. 77, n. E-Suppl, p. 1-12, 2000.
- RUTTEN, C. J.; VELTHUIS, A. G.; STEENEVELD, W.; HOGVEEN, H. Invited review: sensors to support health management on dairy farms. *J Dairy Sci*, v. 96, n. 4, p. 1928-52, 2013.
- SHAHINFAR, S.; KALANTARI, A. S.; CABRERA, V.; WEIGEL, K. Short communication: Prediction of retention pay-off using a machine learning algorithm. *J Dairy Sci*, v. 97, n. 5, p. 2949-52, 2014a.
- SHAHINFAR, S.; PAGE, D.; GUENTHER, J. et al. Prediction of insemination outcomes in Holstein dairy cattle using alternative machine learning algorithms. *J Dairy Sci*, v. 97, n. 2, p. 731-42, 2014b.
- STEENEVELD, W.; HOGVEEN, H. Characterization of Dutch dairy farms using sensor systems for cow management. *J Dairy Sci*, v. 98, n. 1, p. 709-17, 2015.
- STERMAN, J. D. All models are wrong: reflections on becoming a systems scientist. *System Dynamics Review*, v. 18, n. 4, p. 501-531, 2002.
- TEDESCHI, L. O. Assessment of the adequacy of mathematical models. *Agricultural Systems*, v. 89, n. 2-3, p. 225-247, 2006.
- TEDESCHI, L. O.; FOX, D. G.; SAINZ, R. D. et al. Mathematical models in ruminant nutrition. *Scientia Agricola*, v. 62, n. 1, p. 76-91, 2005.
- VIAZZI, S.; BAHR, C.; SCHLAGETER-TELLO, A. et al. Analysis of individual classification of lameness using automatic measurement of back posture in dairy cattle. *J Dairy Sci*, v. 96, n. 1, p. 257-66, 2013.
- WICHERN, D. W.; JOHNSON, R. A. *Applied multivariate statistical analysis*. 6th. Pearson, 2007.

Uso da termografia infravermelha na pecuária de precisão

Juliana Mergh Leão¹ - CRMV-MG 15859
Juliana Aparecida Mello Lima²
Fernando Pimont Pôssas³ - CRMV-MG 7779
Luiz Gustavo Ribeiro Pereira⁴ - CRMV-MGS930

¹ Médica Veterinária, Doutoranda em Zootecnia, Escola de Veterinária da Universidade Federal de Minas Gerais.

² Médica Veterinária, Bolsista Pós-doc CAPES/PVE, Universidade Federal de São João del-Rei/Embrapa Gado de Leite.

³ Médico Veterinário, Bolsista Pós-doc CAPES/Embrapa, Universidade Federal de São João del-Rei.

⁴ Embrapa Gado de Leite, Complexo Multiusuário de Bioeficiência e Sustentabilidade da Pecuária, Coronel Pacheco, Minas Gerais.

Introdução

Tecnologias inovadoras e biotecnologias contribuem significativamente para o avanço em pesquisa animal, permitindo a identificação da variabilidade animal e o desenvolvimento de produtos, processos e serviços para aplicação do conceito de pecuária de precisão nas fazendas leiteiras.

Métodos não destrutivos nem invasivos podem ser úteis para obtenção de dados confiáveis sem interferir diretamente com os organismos, evitando reações de estresse. A termografia infravermelha pode ser um méto-

Na medicina veterinária e produção animal tem sido aplicada principalmente como ferramenta de diagnóstico, de prevenção e de correlação com característica de interesse econômico ou clínico.

do adequado para alcançar esse objetivo, já que não entra em contato com os animais e, portanto, não existe contraindicação para seu uso em nenhuma espécie, tornando-se opção com potencial de aplicação na produção animal.

Na medicina veterinária e produção animal tem sido aplicada principalmente como ferramenta de diagnóstico, de prevenção e de correlação com característica de interesse econômico ou clínico. Pode, por exemplo, ser utilizada para detectar processos inflamatórios ou si-

nais patológicos subclínicos antes de a doença tornar-se evidente, permitindo a aplicação do conceito de terapêutica de precisão.

Em relação à avaliação do bem-estar, instalações e condições de conforto térmico, as mensurações termográficas podem ser utilizadas em animais para monitorar seu comportamento natural ou em determinada condição de manejo e ainda serem utilizadas para avaliar o conforto térmico de instalações. As medidas podem ser feitas em conjunto com outras mensurações de características fisiológicas e comportamentais. Além disso, os dados podem ser gravados remotamente tanto durante o dia como à noite, permitindo, assim, que os animais possam ser estudados a campo.

Este capítulo visa mostrar fundamentos científicos e técnicos de termografia e suas principais aplicações na medicina veterinária e pecuária leiteira de precisão.

Conceitos e Princípios

A termografia infravermelha é a ciência de aquisição e análise de informações térmicas a partir de dispositivos de obtenção de imagens térmicas sem contato. O infravermelho é uma frequência eletromagnética naturalmente emitida por qualquer corpo, com intensidade proporcional à sua temperatura.

Historicamente, a mensuração da temperatura tem sido utilizada para o diagnóstico clínico, porque se provou ser um bom indicador da saúde (Tan *et al.*, 2009). Os mamíferos são capazes de manter a temperatura corporal constante, apesar de serem influenciados pela

A termografia infravermelha (TIV) é baseada no princípio de que todos os corpos formados de matéria emitem certa carga de radiação infravermelha, proporcional à sua temperatura. Essa radiação pode ser capturada em um termograma que expressa o gradiente térmico em um padrão de cores (Eddy et al., 2001).

transferência de calor do meio ambiente por convecção, radiação infravermelha, transpiração e condução. A temperatura do núcleo (core) é preservada dentro de uma faixa estreita (Bouzida *et al.*, 2009) e sua regulação é essencial para a execução normal do corpo no metabolismo saudável ou exercício. A temperatura do corpo está intimamente controlada dentro de limites precisos. De um ponto de

vista quantitativo, o fenômeno mais importante empregado na termorregulação é evapotranspiração. Um grama de água evaporada da superfície da pele pode reduzir 1°C de 0,5kg do tecido de um mamífero.

A termografia infravermelha (TIV) é baseada no princípio de que todos os corpos formados de matéria emitem certa carga de radiação infravermelha, proporcional à sua temperatura. Essa radiação pode ser capturada em um termograma que expressa o gradiente térmico em um padrão de cores (Eddy *et al.*, 2001).

A temperatura de superfície dos animais depende do fluxo sanguíneo e da taxa metabólica dos tecidos subcutâneos (Nikkhah *et al.*, 2005). Muitas infecções que desencadeiam processos inflamatórios como resposta imunológica alteram o fluxo sanguíneo e, por consequência, a temperatura na região afetada (Berry *et al.*, 2003). Alterações de superfície da pele podem ser detectadas utilizando-se a TIV com sucesso (Bouzida *et al.*, 2009).

A circulação e o sangue são a base para o uso da termografia, que captura, na pele, suas atividades, como um padrão fisiológico dinâmico. Assim, a imagem termográfica aparece como um gráfico de representação da radia-

ção emitida pela superfície da pele, que é transformado em imagem visível (Fig. 1). Quando há alterações na circulação dos tecidos adjacentes à pele, sua temperatura também sofrerá alteração, mudando o padrão de cor no termograma (Redaelli *et al.*, 2013), quantitativamente observado em cada pixel, que representa um ponto de temperatura.

O uso da TIV se deve, principalmente, à vantagem de não ser uma técnica invasiva, podendo ser usada sem a necessidade de captura ou contenção dos animais (Schaefer *et al.*, 2012); tem a possibilidade de ser utilizada como um método de prevenção de doenças,

O uso da TIV se deve, principalmente, à vantagem de não ser uma técnica invasiva, podendo ser usada sem a necessidade de captura ou contenção dos animais

identificando a elevação da temperatura antes do aparecimento dos primeiros sinais clínicos, atuando como um sinal de alerta para a observação do animal (Gloster *et al.*, 2011; Redaelli *et al.*, 2013); permite a análise da resposta fisiológica, fornecendo resultados das alterações teciduais ao longo do tempo (Redaelli *et al.*, 2013); e apresenta mobilidade para aplicação nas fazendas (Dunbar *et al.*, 2009).

Mesmo com essas vantagens, fatores relacionados ao equipamento, animal ou ambiente podem limitar o uso da TIV. Com relação ao equipamento, uma boa câmera termográfica apresenta custo elevado (Eddy *et al.*, 2001;

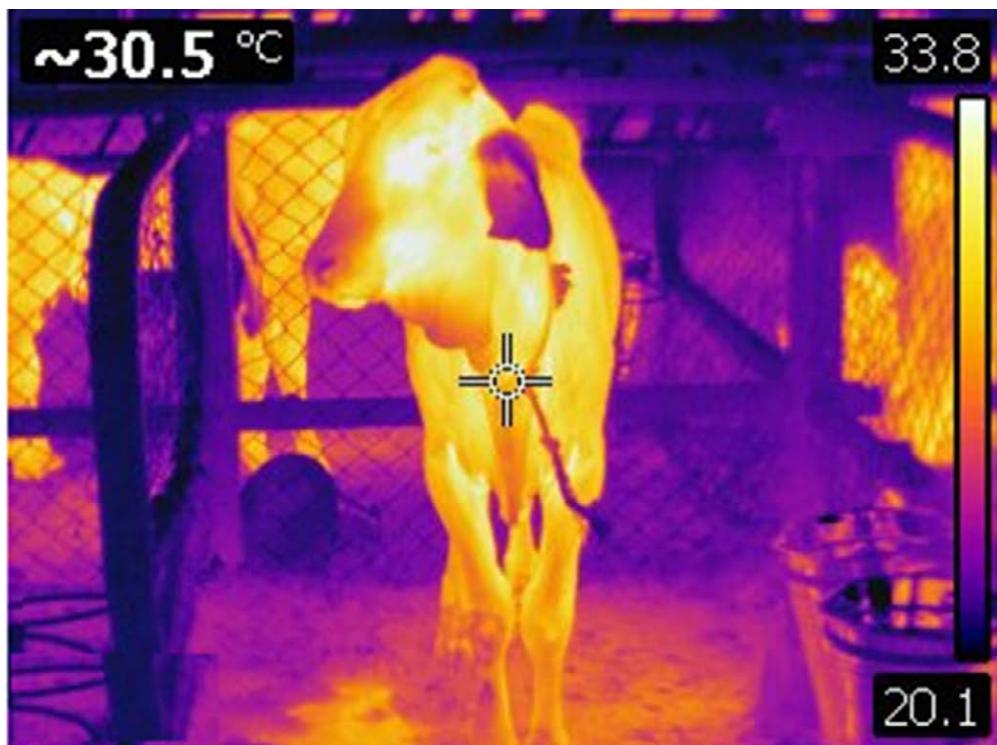


Figura 1. Termograma de uma bezerra. Notar as narinas, orelhas e partes baixas das pregas da pele cervical como extremidades mais frias e entorno dos olhos e região posterior da boca como áreas mais quentes.

Redaelli *et al.*, 2013). Fatores relacionados diretamente ao animal podem influenciar o resultado do termograma: como a realização de atividade física – que eleva a temperatura superficial devido ao aumento da taxa metabólica e circulação periférica dos músculos esqueléticos (Berry *et al.*, 2003), a presença de resíduos orgânicos ou inorgânicos no local a ser termografado (esterco, lama ou tecido necrosado), alterando a temperatura (Rodríguez *et al.*, 2008); e o estágio de lactação, que influencia a temperatura da pele da mama, que, no pico da lactação, está em maior atividade física e metabólica, tornando-se mais quente (Martins *et al.*, 2013).

Sobre o ambiente, destaca-se a influência do ciclo circadiano sobre a temperatura corporal, principalmente da glândula mamária, que é um dos principais fatores observados no uso da TIV para diagnóstico de mastite, bem como o efeito da exposição à radiação solar direta (Berry *et al.*, 2003), o conforto térmico oferecido pelo ambiente no momento, ou antes, da obtenção do termograma, pois a hipertermia ou hipotermia influenciam o resultado do termograma (Nogueira *et al.*, 2013). Além da temperatura, a umidade relativa do ar e emissividade do tecido também devem ser observadas, porém podem ser ajustadas no equipamento ou *software* de interpretação de imagens termográficas (Kunc *et al.*, 2007). Muitas das limitações apresentadas ao uso da TIV podem ser minimizadas com cuidados no momento da avaliação, sendo necessária a padronização de procedimentos.

Uso da TIV no diagnóstico de patologias de animais

Na medicina veterinária, a TIV tem recebido maior atenção no desenvolvimento de pesquisas nas áreas de: mastite bovina (Berry *et al.*, 2003; Nikkhah *et al.*, 2005; Colak *et al.*, 2008; Hovinen *et al.*, 2008; Polat *et al.*, 2010), doença respiratória em bezerros (Schaefer *et al.*, 2007; Schaefer *et al.*, 2011), diagnóstico de febre aftosa (Rainwater-Lovett *et al.*, 2009), avaliação de comportamento e bem-estar animal (Stewart *et al.*, 2005; Kotrba *et al.*, 2007; McCafferty *et al.*, 2011), produção de gás metano por vacas leiteiras e identificação de animais com melhor eficiência alimentar (Montanholi *et al.*, 2008).

Na perspectiva de produzir conhecimentos sobre o uso da TIV na medicina veterinária, como método auxiliar em diagnóstico de patologias, pesquisas apontaram-na como capaz de identificar alterações locais e sistêmicas de temperatura, expressas na superfície da pele, com a vantagem, em muitos casos, de identificá-las ainda no início da doença, mesmo antes do aparecimento dos primeiros sinais clínicos, tornando-a, assim, uma tecnologia que pode aumentar a eficiência dos diagnósticos e terapêutica (Tab. 1).

Febre aftosa

Dada a importância econômica da febre aftosa, o diagnóstico, prevenção e controle devem ter elevado nível de eficiência. Com o

Na medicina veterinária, a TIV tem recebido maior atenção no desenvolvimento de pesquisas nas áreas de: mastite bovina, doença respiratória em bezerros, diagnóstico de febre aftosa, avaliação de comportamento e bem-estar animal, produção de gás metano por vacas leiteiras e identificação de animais com melhor eficiência alimentar.

Tabela 1: Diferentes aplicações da termografia infravermelha em bovinos

Referências	Conclusões
Schaefer <i>et al.</i> (1988)	Alterações da temperatura termográfica associadas ao transporte e ao jejum – método eficaz na avaliação do bem-estar animal.
Eicher <i>et al.</i> (2006)	Alterações da temperatura termográfica da cauda para detecção de dor crônica após o corte de cauda.
Stewart, Stafford, Dowling, Schaefer & Webster (2008); Stewart <i>et al.</i> (2009)	Diminuição da temperatura termográfica ocular permite a detecção de dor aguda no momento da descorna – método eficaz na avaliação do bem-estar animal.
Stewart <i>et al.</i> (2010)	Alterações da temperatura termográfica ocular mediadas pela resposta do sistema nervoso simpático – método eficaz na avaliação do bem-estar animal.
Schaefer <i>et al.</i> (2004)	Modelo de indução de diarreia viral bovina para identificação precoce de doença sistêmica. Observação de alterações da temperatura termográfica ocular até uma semana antes do aparecimento de sinais clínicos; elevada sensibilidade de diagnóstico.
Colak <i>et al.</i> (2008)	Alterações da temperatura termográfica do úbere permitem a detecção de diversos graus de gravidade de infecção da glândula mamária; correlação com o teste <i>California mastitis test</i> ($r = 0,92$) – método eficaz para monitorar e identificar mastites.
Hovinen <i>et al.</i> (2008)	Modelo de indução de mastite por <i>Escherichia coli</i> para determinar a eficácia da termografia na identificação de mastites clínicas. Observação de um aumento de 1 a 1,5 °C da temperatura termográfica do úbere associado à presença de mastite clínica.
Polat <i>et al.</i> (2010)	Alterações da temperatura termográfica do úbere permitem a detecção de mastites subclínicas com uma capacidade predictiva similar à do teste <i>California mastitis test</i> – método alternativo perante impossibilidade de realização de culturas microbiológicas (Se=95,6%; Sp=93,6%).
Rainwater-Lovett <i>et al.</i> , (2009)	Alterações termográficas dos membros permitem a identificação de febre aftosa antes e após o aparecimento de sinais clínicos da doença. Método de triagem eficaz.

Fonte: Adaptado de Gonçalves (2013).

intuito de contribuir com essa eficiência, estudos adotaram a TIV como tecnologia auxiliar nesse processo. Rainwater-Lovett *et al.* (2009) recomendaram o uso da TIV como ferramenta auxiliar no diagnóstico de rebanhos com suspeita de febre aftosa, associando-a a outros exames laboratoriais, tendo em vista que o termograma conseguiu detectar incremento de temperatura do casco e no olho de animais infectados, mesmo antes de aparecerem os sinais clínicos, como as vesículas.

Ainda apontam que o uso do equipamento pode contribuir para reduzir o trânsito de pessoas em fazendas onde há suspeita ou confirmação de surto, pois as imagens podem ser feitas e enviadas via rede sem fio para serem analisadas longe do possível surto e auxiliarem na tomada de decisões. Achados semelhantes foram encontrados por Gloster *et al.* (2011) com a ressalva de que a temperatura do casco não é o melhor indicador, devido à influência que este sofre do solo que, por sua vez, muda de temperatura em função da umidade e da temperatura do ambiente. O olho apresentou-se como melhor parte para monitorar a temperatura superficial e indicar estado febril nos animais.

Complexo das doenças respiratórias dos bovinos

Embora o complexo das doenças respiratórias dos bovinos seja uma patologia multifatorial, um dos primeiros e principais sinais clínicos é a febre. Baseados nessa resposta, Schaefer *et al.* (2007), ao testar a TIV como método auxiliar no diagnóstico de doenças respiratórias, obtiveram eficiência de 71% em comparação com os 55% quando apenas o método clínico tradicional foi utilizado. O uso da TIV apresentou ainda a vantagem de identificar animais com temperaturas elevadas em decorrência da doença entre quatro a

seis dias antes do aparecimento dos primeiros sinais clínicos.

Já Schaefer *et al.* (2012) encontraram uma eficiência de 93% e as temperaturas médias das órbitas oculares foram 36,7°C para animais positivos e 34,91°C para os negativos. Os resultados foram obtidos a partir de um sistema automatizado e não invasivo para o diagnóstico, utilizando a TIV, com a finalidade de identificar animais no estágio inicial da doença. O sistema foi instalado de maneira que as câmeras ficassem direcionadas para os bebedouros, fotografando as faces laterais da cabeça dos animais, sempre durante o acesso à água.

Mastite

Um grande desafio para produtores de leite é o controle da mastite, doença infecciosa que traz perdas econômicas significativas para pecuaristas. Muitas vezes, a ausência do diagnóstico precoce é um fator limitante e decisivo para o sucesso do tratamento. Polat *et al.* (2010) estudaram a TIV com o objetivo de utilizá-la para aumentar a eficiência do diagnóstico de mastite subclínica, comparando-a com Contagem de Células Somáticas (CCS) e *California Mastitis Test* (CMT) e observaram uma correlação de $r = 0,73$ entre a temperatura superficial da glândula mamária (TSG) e CCS e de $r = 0,86$ da TSG e CMT. Os quartos mamários com mastite subclínica apresentaram temperatura média de 35,80°C para CCS maior que 400.000 células/mL e 33,45°C para as vacas saudáveis com CCS menor que 400.000 células/mL.

Amostras de leite e da TSG foram avaliadas simultaneamente pelo CMT e TIV em cada quarto mamário de 94 vacas de leite ($n = 49$ para raça Pardo-Suíça e $n = 45$ para raça Holandês). A média de dias em lactação

(DEL) e produção de leite foram de 93 ± 37 dias e $16 \pm 2,2$ kg (média \pm desvio padrão). Houve forte correlação entre TSG e escore de CMT ($r = 0,92$). TSG média foi de $33,19^\circ\text{C}$, $34,08^\circ\text{C}$, $34,99^\circ\text{C}$ e $36,15^\circ\text{C}$ para quartos com escore de 0 CMT ($n = 156$), 1 ($n = 116$), 2 ($n = 80$) e 3 ($n = 24$), respectivamente. Essa associação foi descrita por um modelo linear de regressão: $y = 0,94x + 33,17$, $R^2 = 0,85$, em que $y = \text{TSG}$ e $x = \text{escore de CMT}$. Já as mudanças na temperatura retal (TR) não apresentaram a mesma associação para o escore de CMT ($y = 0,09x + 38,39$, $R^2 = 0,07$, em que $y = \text{TR}$ e $x = \text{média do escore de CMT}$). Concluiu-se que a TIV é sensível o suficiente para perceber as alterações no TSG em resposta a diferentes graus de severidade da infecção da glândula mamária, como refletido pela contagem de CMT, o que sugere que possa ser utilizada como método não invasivo para o rastreamento de vacas com mastite.

Já Hovinen *et al.* (2008) concluíram que a maior eficiência está em identificar a mastite clínica, pois, em seu trabalho, quando inocularam lipolissacarídeos de *Escherichia coli* na glândula mamária de vacas sadias, identificaram que o incremento na TSG somente ocorreu quatro horas após a inoculação, associado a leves sinais sistêmicos, como o aumento da temperatura retal.

Considerando os estudos com TIV para diagnóstico de mastite em vacas, observe que os incrementos de temperatura entre glândulas saudáveis ou com mastite são divergentes. Hovinen *et al.* (2008) encontraram um incremento de TSG entre 1°C e $1,5^\circ\text{C}$ na superfície da glândula mamária de vacas com mastite clínica quando comparadas àquelas saudáveis. No estudo de Polat *et al.* (2010), a diferença foi de $2,3^\circ\text{C}$ maior para mastite clínica. A sensibilidade e a especificidade identificadas no estudo de Polat *et al.* (2010) foram, respectivamente, de 95,6% e

93,6% para a TIV e de 88,9% e 98,9% para o CMT. Gharagozloo *et al.* (2003) encontraram sensibilidade de 84,1% para o CMT. Os resultados indicam que a TIV pode ser mais sensível, porém um pouco menos específica que o CMT no diagnóstico de mastite em vaca, fato que permite a esses autores concluir que a TIV apresentou sensibilidade para detectar alterações na temperatura da pele causadas pela mastite.

Identificação de animais mais eficientes

O consumo alimentar residual (CAR) é a diferença entre ingestão de matéria seca (IMS) real e IMS esperada com base no peso corporal metabólico e na taxa de crescimento (Koch *et al.*, 1963). Portanto, o CAR quantifica a variação em IMS que é independente das exigências de manutenção e energia de crescimento. Animais classificados com fenótipo CAR negativo ou baixo são aqueles que consomem menos do que o esperado com base no peso corporal e no desempenho, enquanto animais classificados com CAR positivo ou alto são considerados menos eficientes.

A termorregulação é um fator relacionado à eficiência alimentar, pois está associada ao metabolismo energético e à produção de calor (Herd *et al.*, 2004). A TIV foi utilizada para medir a temperatura da superfície do corpo do animal, em bovinos, na tentativa de identificar os animais mais eficientes (Schaefer *et al.*, 2005).

Schaefer *et al.* (2005) correlacionaram imagens termográficas com produção de calor em vacas, avaliando a temperatura do dorso dos animais em três momentos em um teste com duração de 84 dias. Seguindo a classificação de baixo, médio e alto CAR, a temperatura máxima da superfície dorsal foi significativamente menor nas vacas de baixo CAR

em relação aos animais de alto CAR. Sugerindo que a TIV pode apresentar utilidade na avaliação da eficiência de vacas em lactação.

Huntington *et al.* (2012) avaliaram o consumo de matéria seca, ganho médio diário (GMD) e eficiência alimentar (EA) em touros Angus, durante 4 anos (n = 277, 60-81 touros por ano). Imagens termográficas da área da costela esquerda foram registradas para cada touro. O consumo alimentar residual variou entre -2,17 a 3,07kg/d (desvio padrão = 0,55) e foi positivamente correlacionado ($P < 0,05$) com IMS ($r = 0,49$) e negativamente correlacionado com EA ($r = -0,50$), mas não foi correlacionado com as medidas de TIV.

TIV em grupos de animais

A TIV pode ser utilizada para avaliação de animais em grupo, particularmente em sistemas de alojamento densamente povoadas, tais como suínos, aves, confinamento de bovinos e criação de bezerras.

Uma câmera térmica portátil foi usada para avaliar grupos de suínos confinados (n = 20 /baia), em um surto de *Actinobacillus pleuropneumoniae*. A varredura térmica foi obtida de todas as baias em que pelo menos um caso de mortalidade foi registado e a temperatura máxima do grupo de animais foi computada e comparada com outras três baias sem mortalidade, escolhidas aleatoriamente. Notou-se que as

A TIV pode ser utilizada para avaliação de animais em grupo, particularmente em sistemas de alojamento densamente povoadas, tais como suínos, aves, confinamento de bovinos e criação de bezerras.

baias que exibiram casos de mortalidade obtiveram temperatura máxima significativamente maior quando comparada com as baias controle, indicando o uso da varredura térmica de baias como forma de identi-

cação precoce de potenciais surtos de doenças (Friendship *et al.*, 2009).

Avaliação e condição de instalações (ambiência e conforto)

Com a importância que o bem-estar animal tem assumido nos mais diversos campos da medicina veterinária, produção animal e também nas pesquisas científicas da área, tornou-se imprescindível a utilização de técnicas e equipamentos não invasivos que levam em consideração o conforto animal, destacando, assim, o uso da TIV.

A manutenção da temperatura corporal é determinada pelo equilíbrio entre o ganho e a perda de calor. Os principais parâmetros para avaliação da tolerância e adaptação dos animais ao ambiente expostos são a frequência respiratória, temperatura retal e temperatura superficial (Santos *et al.*, 2005).

Dessa forma, à medida que a temperatura do ambiente se eleva, a eficiência da perda de calor sensível diminui (radiação, condução e convecção). Com isso, o organismo animal, por meio de mecanismos evaporativos, a exemplo da sudorese e da frequência respiratória, aumenta a dissipação

Notou-se que as baias que exibiram casos de mortalidade obtiveram temperatura máxima significativamente maior quando comparada com as baias controle, indicando o uso da varredura térmica de baias como forma de identificação precoce de potenciais surtos de doenças.

de calor insensível. A dissipação de calor insensível é influenciada pela umidade, de forma que, quanto maior a umidade em temperaturas elevadas, maior é a dificuldade que o animal enfrenta para dissipar o calor.

Assim, a temperatura do ar e a umidade são consideradas como os principais elementos climáticos responsáveis pelo estresse por calor. Caso o animal não consiga dissipar o calor excessivo vindo do ambiente a partir de suas estratégias fisiológicas, a temperatura retal se eleva acima dos valores normais específicos para cada espécie ou categoria animal, desenvolvendo-se então o estresse calórico. Por consequência, tem-se redução no consumo de alimentos e perda de produtividade, prejuízos que acometem principalmente sistemas de produção em regiões tropicais.

Os fatores ambientais, nutricionais e de manejo estão intrinsecamente ligados ao processo produtivo e devem ser levados em consideração quando se busca uma maior eficiência na exploração pecuária. Nesse contexto, a TIV surge como alternativa para avaliar o impacto dos fatores ambientais na produção animal, dando suporte a decisões, promovendo a saúde e o bem-estar animal.

Fiorelli *et al.* (2012) estudaram a eficiência térmica de diferentes coberturas (telha de fibrocimento pintada de branco, telha de fibrocimento sem pintura e telha de fibrocimento com tela de sombreamento) de bezerreiros individuais expostos ao sol e à sombra. Utilizaram a TIV e índices de conforto térmico como parâmetros de avaliação e concluíram que o processamento de imagens termográficas mostrou-se uma ferramenta facilitadora da identificação de diferenças significativas de temperatura de superfície de cobertura do bezerreiro exposto à sombra em comparação àqueles

expostos ao sol. Os resultados obtidos a partir da utilização da câmera termográfica permitiram aos autores observarem que a estrutura com telhado de fibrocimento pintado de branco foi a que apresentou menores valores de temperatura de superfície dos abrigos expostos ao sol.

Já Barnabé *et al.* (2015) avaliaram a eficiência térmica de materiais de cobertura em abrigos individuais durante a fase de aleitamento de bezerras Girolando por meio de termografia. Foram utilizados três tipos de materiais de cobertura, sendo telha de fibrocimento, telha reciclada e cobertura de palha. Os autores concluíram que os abrigos cobertos com telha reciclada e palha tiveram redução de 18,7 e 14,6% na carga térmica radiante, respectivamente. A temperatura da superfície inferior da cobertura dos abrigos foi menor para telha reciclada (42,0°C) e palha (38,7°C) em relação a telha de fibrocimento (46,8°C). As bezerras criadas nesses abrigos permaneceram menos tempo expostas ao sol; porém, os animais criados em todos os sistemas elevaram a frequência respiratória para manter a homeotermia. Além disso, os autores observaram que a temperatura média da superfície do pelame (TSP) da bezerra exposta à sombra foi de 5,6°C inferior à TSP da bezerra em exposição ao sol.

Em sistemas intensivos de produção de leite em condições tropicais, a ambiência adequada é um dos principais desafios. Nessas condições, o uso de câmeras termográficas podem ser uma importante ferramenta para diagnóstico de condições em sistemas do tipo *free stall* e *compost barn*. Na Figura 2, é possível observar o resfriamento conferido pelo sistema de resfriamento do tipo ventilação cruzada em sistema do tipo *free stall* e, na Figura 3, pode ser observado o aumento de temperatura causado pelo re-

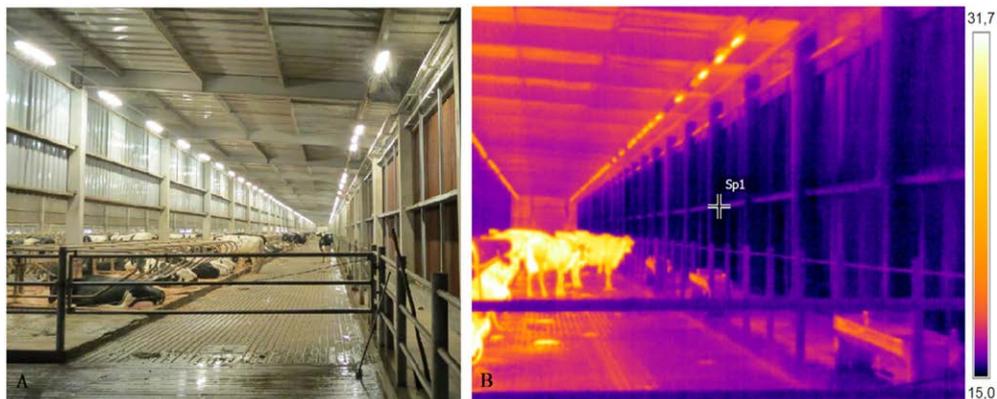


Figura 2. (A) Sistema *free stall* com ventilação cruzada. (B) Termograma mostrando a baixa temperatura conferida pelo sistema de ventilação cruzada (região de coloração mais escura – roxa na direita da foto).



Figura 3. (A) Sistema do tipo *compost barn*. (B) Termograma do processo de revirar da cama, com trator equipado com escarificador de solo, evidenciando o calor gerado durante esse processo (região de coloração mais clara).

virar da cama em sistema tipo *compost barn*.

A TIV é uma alternativa precisa para ajudar na compreensão da termorregulação em razão das mudanças na temperatura superficial e do impacto das condições ambientais sobre o bem-estar animal, bem como na avaliação

A TIV é uma alternativa precisa para ajudar na compreensão da termorregulação em razão das mudanças na temperatura superficial e do impacto das condições ambientais sobre o bem-estar animal, bem como na avaliação da adaptabilidade das diferentes espécies e raças aos mais variados sistemas de produção utilizados.

da adaptabilidade das diferentes espécies e raças aos mais variados sistemas de produção utilizados.

Avaliação de alimentos (silagem)

Recentemente, o emprego da TIV tem se

expandido para avaliação da qualidade de alimento, com destaque para os ensilados. Quando ocorre a abertura dos silos, o material que entra em contato com o ar sofre um processo de degradação por micro-organismos aeróbios, como fungos, leveduras e bactérias. Esse processo

de degradação gera calor. Assim, o aumento da temperatura pode ser um indicativo de perda de energia e nutrientes, bem como de formação de compostos tóxicos, como as micotoxinas.

O monitoramento da temperatura na superfície de alimentos parece ser uma forma rápida e segura na predição da qualidade nutricional e microbiológica de muitos produtos (Novinski *et al.*, 2013). Junges (2010) observou correlação entre a temperatura da superfície e a temperatura interna da massa de forragem no silo de $r = 0,55$ ($P < 0,001$), demonstrando que a TIV pode ser usada como indicador de pontos de crescimento microbiano. No entanto, ressaltou que há necessidade de se ampliar o controle de outras variáveis.

Abdelhadi *et al.* (2012) avaliaram a localização de pontos de máximo e de mínimo aquecimento em silos de milho do tipo *bunker*. Não houve correlação da temperatura com os parâmetros de qualidade, como matéria seca (MS), proteína bruta e pH; no entanto, silagens coletadas nas áreas de ponto máximo tiveram menor digestibilidade de matéria seca. Dessa forma, os autores concluíram que a imagem em infravermelho pode ser utilizada para detectar regiões que representam menor digestibilidade da MS.

Avaliando os efeitos de inoculante na estabilidade aeróbia de silagem de cevada,

A TIV apresenta potencial para ser aplicada no diagnóstico de doenças, na identificação de animais mais eficientes, na avaliação de questões relacionadas a ambiência e bem-estar animal, permitindo a compreensão da variabilidade animal e espacial.

Addah *et al.* (2012) também concluíram que as imagens termográficas oferecem perspectivas como método prático para avaliar a qualidade de silagens; porém, os autores ressaltaram a necessidade de mais estudos para determinar a capacidade de avaliação nos

diversos tipos de silagens.

Considerações finais

A TIV apresenta potencial para ser aplicada no diagnóstico de doenças, na identificação de animais mais eficientes, na avaliação de questões relacionadas a ambiência e bem-estar animal, permitindo a compreensão da variabilidade animal e espacial. Dessa forma, essa tecnologia pode ser utilizada como ferramenta de auxílio na tomada de decisão que confira melhoria de processos e aumento de eficiência nos sistemas de produção de leite.

No entanto, existe a necessidade do desenvolvimento de mais pesquisas para estabelecer os parâmetros e referências de temperaturas das várias espécies animais em diferentes condições biológicas e ambientais, para que a tecnologia possa ser utilizada com maior precisão e eficiência na prática veterinária ou zootécnica.

Referências

1. ABDELHADI, P.A.; SARAIVA, W.R.; BAMEIX, C.A. Infrared thermography to assess the relationship between corn silage quality and face temperature. *Journal of Dairy Science*, v.95, p.537, 2012.
2. ADDAH, W.; BAAH, J.; OKINE, E.K. et al. Use of thermal imaging and the in situ technique to assess the impact of an inoculant with feruloyl esterase activity on the aerobic stability and digestibility of barley silage. *Canadian Journal of Animal Science*, v.92, p.381-394, 2012.
3. BARNABÉ, J.M.C.; PANDORFI, H.; ALMEIDA,

- G.L.P. et al. Conforto térmico e desempenho de bezerras Girolando alojadas em abrigos individuais com diferentes coberturas. *Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental*, v.19, p.481-488, 2015.
4. BERRY, R.J.; KENNEDY, A.D.; SCOTT S.L. et al. Daily variation in the udder surface temperature of dairy cows measured by infrared thermography: Potential for mastitis detection. *Canadian Journal of Animal Science*, v.83, p.687-93, 2003.
 5. BOUZIDA, N.; BENDANA, A.; MALDAGUE, X.P. Visualization of body thermoregulation by infrared imaging. *Journal of Thermal Biology*, v.34, p.120-6, 2009.
 6. COLAK, A.; POLAT, B.; OKUMUS, Z. et al. Short Communication: Early Detection of Mastitis Using Infrared Thermography in Dairy Cows. *Journal of Dairy Science*, v.91, p.4.244-4.248, 2008.
 7. DUNBAR, M.R.; JOHNSON, S.R.; RHYAN, J.C. et al. Use of infrared thermography to detect thermographic changes in mule deer (*odocoileus hemionus*) experimentally infected with foot-and-mouth disease. *Journal of Zoo and Wildlife Medicine*, v.40, p.296-301, 2009.
 8. EDDY, A.L.; VANHOOGMOED, L.M.; SNYDER, J.R. The Role of Thermography in the Management of Equine Lameness. *Veterinary of Journal*, v.162, p.172-181, 2001.
 9. EICHER, S.D.; CHENG, H.W.; SORRELLS, A.D. et al. Short communication: Behavioral and physiological indicators of sensitivity or chronic pain following tail docking. *Journal of Dairy Science*, v.89, p.3047-3051, 2006.
 10. FIORELLI, J.; SCHMIDT, R.; KAWABATA, C.Y. et al. Eficiência térmica de telhas onduladas de fibrocimento aplicadas em abrigos individuais para bezerras expostas ao sol e à sombra. *Ciência Rural*, v.42, p.64-67, 2012.
 11. FRIENDSHIP, R.; POLJAK, Z.; MCINTOSH, K. Use of infrared thermography for early detection of disease causing sudden death in a swine finishing barn. In: 28th ANNUAL CENTRALIA SWINE RESEARCH UPDATE. Centralia Swine Research. CA, Ontario. 2009. 127p.
 12. GLOSTER, J.; EBERT, K.; GUBBINS, S. et al., Normal variation in thermal radiated temperature in cattle: implications for foot-and-mouth disease detection. *BMC Veterinary Research*, v.7, p.1746-6148, 2011.
 13. HERD, R.M.; ODDY, V.H.; RICHARDSON, E.C. Biological basis for variation in residual feed intake in beef cattle. 1. Review of potential mechanisms. *Australian Journal of Experimental Agriculture*, v.44, p.423-430. 2004.
 14. HOVINEN, M.; SIIVONEN, J.; TAPONEN, S. et al. Detection of clinical mastitis with the help of a thermal camera. *Journal of Dairy Science*, v.91, p.4592-4598, 2008.
 15. HUNTINGTON, G.; CASSADY, J.; GRAY, K. et al. Use of digital infrared thermal imaging to assess feed efficiency in Angus bulls. *Professional Animal Scientist*, v.28, p.166-172. 2012.
 16. JUNGES, D. *Aditivo microbiano na silagem de milho em diferentes tempos de armazenamento e avaliação da estabilidade aeróbia por termografia em infravermelho*. 2010. 100f. Dissertação (Mestrado em Ciências Veterinárias) - Universidade Federal do Paraná, Curitiba.
 17. KOCH, R.M.; SWIGER, L.A.; CHAMBERS, D. et al. Efficiency of feed use in beef cattle. *Journal of Animal Science*, v.22, p.486-494. 1963.
 18. KOTRBA, R.; KNIZKOVA, I.; KUNC, P. et al. Comparison between the coat temperature of the eland and dairy cattle by infra-red thermography. *Journal of Thermal Biology*, v.32, p.355-359, 2007.
 19. KUNC, R.; KNIZKOVA, I.; PRIKRYL, M. et al. Infrared thermography as a tool to study the milking process: a review. *Agricultura Tropica et Subtropica*, v.40, p.29-32, 2007.
 20. MARTINS, R.F.S.; PAIM, T.; DALLAGO, S.L.B. et al. Mastitis detection in sheep by infrared thermography. *Research in Veterinary Science*, v.94, p.722-724, 2013.
 21. McCAFFERTY, D.J.; GILBERT, C.; THOMPSON, D. et al. Estimating metabolic heat loss in birds and mammals by combining infrared thermography with biophysical modelling. *Comparative Biochemistry and Physiology*, v.158, p.337-345, 2011.
 22. MONTANHOLI, Y.R.; ODONGO, N.E.; SWANSON, K.C. et al. Application of infrared thermography as an indicator of heat and methane production and its use in the study of skin temperature in response to physiological events in dairy cattle (*Bos taurus*). *Journal of Thermal Biology*, v.33, p.469-475. 2008.
 23. NIKKHAH, A.; PLAIZIER, J.C.; EINARSON, M.S. et al. Short communication: infrared thermography and visual examination of hooves of dairy cows in two stages of lactation. *Journal of Dairy Science*, v.88, p.2749-2753, 2005.
 24. NOGUEIRA, F.R.B.; SOUZA, B.B.; CARVALHO, M.G.X. et al. Termografia infravermelha: uma ferramenta para auxiliar no diagnóstico e prognóstico de mastite em ovelha. *Revista Brasileira de Medicina Veterinária*, v.35, p.289-297, 2013.
 25. NOVINSKI, C.O. *Composição de micotoxinas e bromatologia de silagens de milho em silos de grande porte utilizando imagens em infravermelho*. 2013. 85f. Dissertação (Mestrado em Ciências Veterinárias) - Universidade Federal do Paraná, Curitiba.
 26. POLAT, B.; COLAK, A.; CENGIZ, M. et al. Sensitivity and specificity of infrared thermography in detection of subclinical mastitis in dairy cows. *Journal of Dairy Science*, v.93, p.3525-3532, 2010.
 27. RAINWATER-LOVETT, K.; PACHECO, J.M.; PACKER, C. et al. Detection of foot-and mouth disease virus infected cattle using infrared thermography. *The Veterinary Journal*, v.180, p.317-324, 2009.
 28. REDAELLI, V.; BERGERO, D.; ZUCCA, E. et al., Use

- of Thermography Techniques in Equines: Principles and Applications. *Journal of Equine Veterinary Science*, p.1-6, 2013.
29. SANTOS, F.C.B.; SOUZA, B.B.; ALFARO, C.E.P. et al. Adaptabilidade de caprinos exóticos e naturalizados ao clima semiárido do Nordeste brasileiro. *Ciência e Agrotecnologia*, v.29, p.142-149, 2005.
 30. SCHAEFER, A.L.; JONES, S.D.M.; TONG, A.K.W. et al. The effects of fasting and transportation on beef cattle. 1. Acid-base-electrolyte balance and infrared heat loss of beef cattle [Abstract]. *Livestock Production Science*, v.20, p.15-24, 1998.
 31. SCHAEFER, A.L.; COOK, N.J.; TESSARO, S.V. et al. Early detection and prediction of infection using infrared thermography. *Canadian Journal of Animal Science*, v.84, p.73-80, 2004.
 32. SCHAEFER, A.L.; PERRY, B.J.; COOK, N.J. et al. Infrared detection and nitric oxide treatment of bovine respiratory disease. *Journal of Veterinary Research*, v.10, p.7-16, 2005.
 33. SCHAEFER, A.L.; COOK, N.J.; CHURCH, J.S. et al. The use of infrared thermography as an early indicator of bovine respiratory disease complex in calves. *Veterinary Science*, v.83, p.376-384, 2007.
 34. SCHAEFER, A.L.; COOK, N.J.; BENCH, C. 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, 2011.
 35. SCHAEFER, A.L.; COOK, N.J.; BENCH, C. et al. The noninvasive and automated detection of bovine respiratory disease onset in receiver calves using infrared thermography. *Research in Veterinary Science*, v.93, p.928-935, 2012.
 36. STEWART, M.; WEBSTER, J.R.; SCHAEFER, A.L. et al. Infrared thermography as a non-invasive tool to study animal welfare. *Animal Welfare*, v.14, p.319-325, 2005.
 37. STEWART, M.; STAFFORD, K.J.; DOWLING, S.K. et al. Eye temperature and heart rate variability of calves disbudded with or without local anaesthetic. *Physiology & Behavior*, v.93, p.789-797, 2008.
 38. STEWART, M.; STOOKEY, J.M.; STAFFORD, K.J. et al. Effects of local anesthetic and a non-steroidal anti-inflammatory drug on pain responses of dairy calves to hot-iron dehorning [Abstract]. *Journal of Dairy Science*, v.92, p.1512-1519, 2009.
 39. Stewart, M.; Webster, J.R.; Stafford, K.J. et al. Technical note: Effects of an epinephrine infusion on eye temperature and heart rate variability in bull calves [Abstract]. *Journal of Dairy Science*, v.93, p.5252-5257, 2010.
 40. TAN, J.H.; NG, E.Y.K.; ACHARYA, U.R. et al. Infrared thermography on ocular surface temperature: a review. *Infrared Physics & Technology*, p.97-108, 2009.



bigstockphoto.com

Cria e recria de precisão

Rafael Alves de Azevedo¹, Sandra Gesteira Coelho² - CRMV/MG-2335, Bruna Figueiredo Silper³ - CRMV-MG 11574, Fernanda Samarini Machado⁴ - CRMV-MG 11138, Mariana Magalhães Campos⁵ - CRMV-MG 8402

¹ Doutorando Zootecnia UFMG - EVUFMG

² Doutor Ciência Animal - EVUFMG

³ Doutoranda UBC Canadá - UBC Canadá

⁴ Doutor Zootecnia UFMG - Embrapa Gado de leite

⁵ Doutor Zootecnia UFMG - Embrapa Gado de leite

Introdução

A utilização de ferramentas que permitam a avaliação do colostro, a transferência de imunidade passiva aos bezerros, o teor de sólidos totais da dieta líquida, bem como que aumentem a agilidade do processo de aleitamento dos bezerros e observação de cio das novilhas, podem auxiliar na gestão na fase de cria e recria e refletir na melhor saúde e produtividade do rebanho.

Entretanto, para que os resultados com a utilização de equipamentos e tecnologias de precisão durante a fase de cria e recria sejam satisfatórios, é importante o conhecimento

da forma correta de utilização e interpretação dos resultados e que haja qualificação da mão de obra para trabalhar nesses novos sistemas de produção.

Avaliação da qualidade do colostro

O colostro é um alimento de grande importância para nutrição dos bezerros, além de garantir a transferência de imunidade passiva para os mesmos, uma vez que estes ainda não são capazes de produzir grande parte das suas defesas imunológicas, sendo dependentes da imunidade passiva que é adquirida nas pri-

meiras horas de vida através da ingestão de colostro.

É importante o fornecimento de colostro de qualidade, com concentrações de imunoglobulinas maiores do que 51mg/ml, reduzindo-se o risco de falha na transferência de imunidade passiva e de altas taxas de morbidade, mortalidade e baixo desempenho nos primeiros meses de vida do bezerro, além de atrasos em todas as etapas do processo de criação, pois os animais que se recuperam das doenças, invariavelmente, irão apresentar desempenho produtivo inferior quando mal colostrados.

A concentração de imunoglobulinas encontrada no colostro possui variação e pode ser influenciada pela raça, número de partos, duração do período seco e tempo de coleta após o parto da vaca. Sendo assim, métodos de avaliação da qualidade do colostro antes do fornecimento aos bezerros, ou do armazenamento do produto para posterior fornecimento, são de grande importância para garantir correta colostragem dos animais.

Para a quantificação da concentração de imunoglobulinas no colostro, existem técnicas laboratoriais, como a Imunodifusão

O colostrômetro (Fig. 1) permite estimar a qualidade do colostro com base na relação linear entre a concentração de imunoglobulinas e a sua densidade, sendo a leitura realizada nas faixas: boa qualidade (cor verde; acima de 51mg/ml), média qualidade (cor amarela; 21-50mg/ml) e baixa qualidade (cor vermelha; abaixo de 20mg/ml).

Radial e o Imunoensaio Turbidimétrico, porém elas podem ser inviáveis pelo custo e pela demora na obtenção dos resultados. Uma opção simples é a avaliação do colostro pela utilização do colostrômetro.

O colostrômetro (Fig. 1) permite estimar a qualidade do colostro com base na relação linear entre a concentração de imunoglobulinas e a sua densidade, sendo a leitura realizada nas faixas: boa qualidade (cor verde; acima de 51mg/ml), média qualidade (cor amarela; 21-50mg/ml) e baixa qualidade (cor vermelha; abaixo de 20mg/ml).

Mesmo que a avaliação da qualidade do colostro pelo colostrômetro possa levar a imprecisões, pois a temperatura e o teor de sólidos totais do colostro podem afetar a sua avaliação, ele não deixa de ser uma ferramenta rápida, eficiente e de uso na fazenda.

A faixa de temperatura adequada para a avaliação do colostro é de 20 a 25°C. Caso o colostro seja avaliado em temperatura abaixo dessa faixa, a leitura será superestimada e o colostro pode ser erroneamente considerado de alta qualidade. O mesmo pode ocorrer quando a temperatura estiver acima dessa faixa, po-

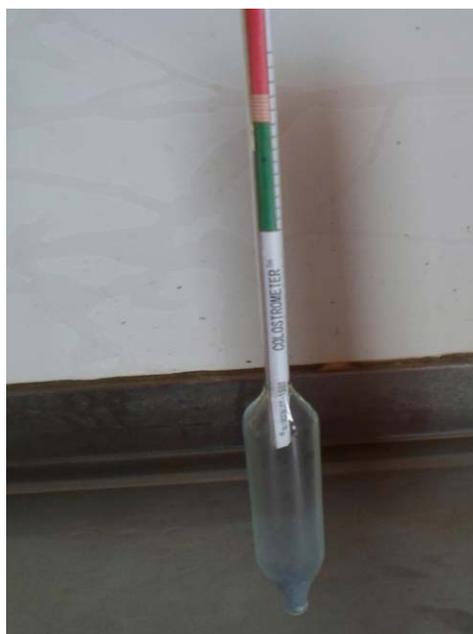


Figura 1. Colostrômetro.

Foto: Rafael Alves de Azevedo.

rém a leitura será subestimada, e colostro de boa qualidade pode ser considerado de baixa qualidade. Dessa forma, deve-se então proceder a correção da seguinte forma: abaixo de 22°C deve-se subtrair 1mg/ml para cada grau abaixo de 22°C, e aumentar 1mg/ml para cada grau acima de 22°C.

Além do colostrômetro, o refratômetro de BRIX (Fig. 2) é outra ferramenta que pode ser utilizada para medir a qualidade do colostro, sendo independente da temperatura para a avaliação. Esse é um método barato, rápido e que requer o mínimo de equipamento e treinamento, podendo ser utilizado na fazenda para avaliação da qualidade de colostro e para a tomada de decisão de fornecimento ou armazenamento em um banco de colostro.

Na avaliação do colostro pelo refratômetro de BRIX, uma gota do colostro deve ser colocada no prisma do refratômetro para ser realizada a leitura da amostra. É importante que o refratômetro tenha sido previamente calibrado com água destilada. Quando a amostra apresentar mais do que 21% de BRIX, o colostro pode ser considerado como de boa qualidade, e aquele que apresentar leitura inferior a 21% de BRIX não deve ser fornecido aos bezerros. Aquele que apresentar mais do que 30% de BRIX é considerado de excelente qualidade. Após a avaliação, é importante realizar a limpeza do prisma, com água destilada e papel macio, para evitar que eventuais resíduos comprometam a próxima leitura.

Além do colostrômetro, o refratômetro de BRIX (Fig. 2) é outra ferramenta que pode ser utilizada para medir a qualidade do colostro

...a avaliação da eficiência de absorção de imunoglobulinas pelos recém-nascidos, pela amostra de sangue, é de extrema importância para avaliar e garantir a colostragem na transferência de imunidade passiva.

Avaliação da transferência de imunidade passiva aos bezerros

O sucesso na transferência de imunidade passiva aos bezerros depende de fatores como concentração de imunoglobulinas no colostro, volume ingerido, intervalo de tempo entre o nascimento e a ingestão, qualidade sanitária do colostro e da capacidade de absorção. Sendo assim, a avaliação da eficiência de absorção de imunoglobulinas pelos recém-nascidos, pela amostra de sangue, é de extrema importância para avaliar e garantir a colostragem na transferência de imunidade passiva.

O refratômetro utilizado para avaliações de proteína total e o refratômetro de BRIX, com escala em g/dl, irão medir a concentração de proteína total presente no sangue e podem ser utilizados para avaliar a transferência de imunidade passiva, embora o teste laboratorial de proteína

sérica seja mais utilizado e mais eficaz.

A idade em que a avaliação é feita pode afetar os resultados. Porém, os recém-nascidos apresentam boa correlação entre a proteína total sérica e as imunoglobulinas séricas, pois a maior parte de proteína consumida no colostro será de imunoglobulinas. Por isso, a recomendação é realizar as avaliações em até 48 horas após o consumo de colostro.

A avaliação é relativamente simples, mas é um pouco mais trabalhosa do que para avaliar a qualidade do colostro (Fig. 3). Uma amostra de sangue deve ser coletada com tubo sem anticoagulante, para obtenção do soro, dentro das

48 horas após a ingestão do colostro. A amostra coletada pode ficar descansando para dessorar, ou ser centrifugada. Em seguida, uma alíquota do soro, à temperatura ambiente, deverá ser colocada sobre o prisma do equipamento, o qual será colocado contra a luz para a observação da escala dentro do equipamento, indicando o valor na linha que divide a área clara e a escura.

A interpretação dos resultados no refratômetro para avaliação de proteína total deve seguir os critérios: $> 5,5\text{g/dl}$ = sucesso na transferência de imunidade passiva, $5,0$ a $5,4\text{g/dl}$ = transferência de imunidade passiva moderada e $< 5,0\text{g/dl}$ = falha na transferência de imunidade passiva. Valores acima de $8,0\text{g/dl}$ podem indicar que o animal está desidratado ou o equipamento possa não estar calibrado.

Para bezerros bem colostrados, os resultados no refratômetro de BRIX devem estar acima de 8,4%. Uma vantagem do uso do refratômetro de BRIX é que um único aparelho pode ser utilizado na propriedade para avaliar a qualidade do colostro, monitorar a transferência de imunidade passiva aos animais e avaliar os teores de sólidos totais da dieta líquida.

Correção dos teores de sólidos totais de leite de descarte

O leite de descarte compreende o leite não comercializável em uma propriedade leiteira. Pode ser composto por excesso de colostro, colostro de baixa qualidade, leite de transição ou ainda proveniente de vacas com mastite ou em tratamento com drogas antimicrobianas.

O uso do leite de descarte ameniza os prejuízos causados pelo descarte do leite de animais com mastite, mas o seu fornecimento aos bezerros deve ser realizado de forma

Em bezerros bem colostrados, os resultados no refratômetro de BRIX devem estar acima de 8,4%.

criteriosa, já que apresenta variações nos teores de proteína e gordura, implicando variação nos nutrientes da dieta líquida fornecida e consequente variação no desempenho dos bezerros. Além de ainda poder conter bactérias, toxinas e resíduos de drogas usadas para o tratamento da mastite e de outras enfermidades.

O teor de sólidos totais do leite de descarte fornecido aos bezerros pode ser avaliado pelo refratômetro de BRIX, porém os resultados são subestimados em dois pontos percentuais. Por exemplo, se o refratômetro mostrar 10% de sólidos totais, o resultado verdadeiro será 12%, devendo ser feita a correção da leitura, somando-se 2% ao valor obtido.

Para melhorar a densidade de nutrientes do leite de descarte, é interessante a avaliação do teor de sólidos com o refratômetro de BRIX, e uma alternativa para corrigir o teor de sólidos é a adição de sucedâneo não diluído antes do fornecimento aos bezerros.

Para melhorar a densidade de nutrientes do leite de descarte, é interessante a avaliação do teor de sólidos com o refratômetro de BRIX, e uma alternativa para corrigir o teor de sólidos é a adição de sucedâneo não diluído antes do fornecimento aos bezerros.

Alimentadores automáticos de dieta líquida

A criação de bezerros leiteiros requer intenso e árduo trabalho para alimentá-los, alojá-los corretamente, lidar com doenças e controlar a alimentação. Todas essas tarefas tornam-se um grande desafio quando o número de bezerros aumenta, levando algumas fazendas a considerar a criação de bezerros em grupos em vez de criação individual.

Nos sistemas coletivos de criação, tecnologias, como os alimentadores automatizados (Fig. 4), vêm se tornando uma alternativa para ajudar produtores e técnicos nas decisões de planejamento para racionalizar o fornecimento de dietas líquidas, buscando facilitar o manejo

durante a fase de cria, sem perder a eficiência de criação, uma vez que os recursos especializados, mão de obra e o tempo disponível estão cada vez mais limitados.

A rotina em uma propriedade leiteira é importante, e um dos objetivos dos alimentadores

automáticos é permitir que o tempo fixo destinado para fornecimento da dieta líquida aos bezerros seja mais flexível, já que inúmeros outros trabalhos e obrigações do dia a dia da fazenda estão ocorrendo ao mesmo tempo. Com o uso de alimentadores automáticos, os bezerros podem



Figura 2. Modelo de refratômetro do tipo BRIX óptico (a) e digital (b).

Fotos: Rafael Alves de Azevedo.

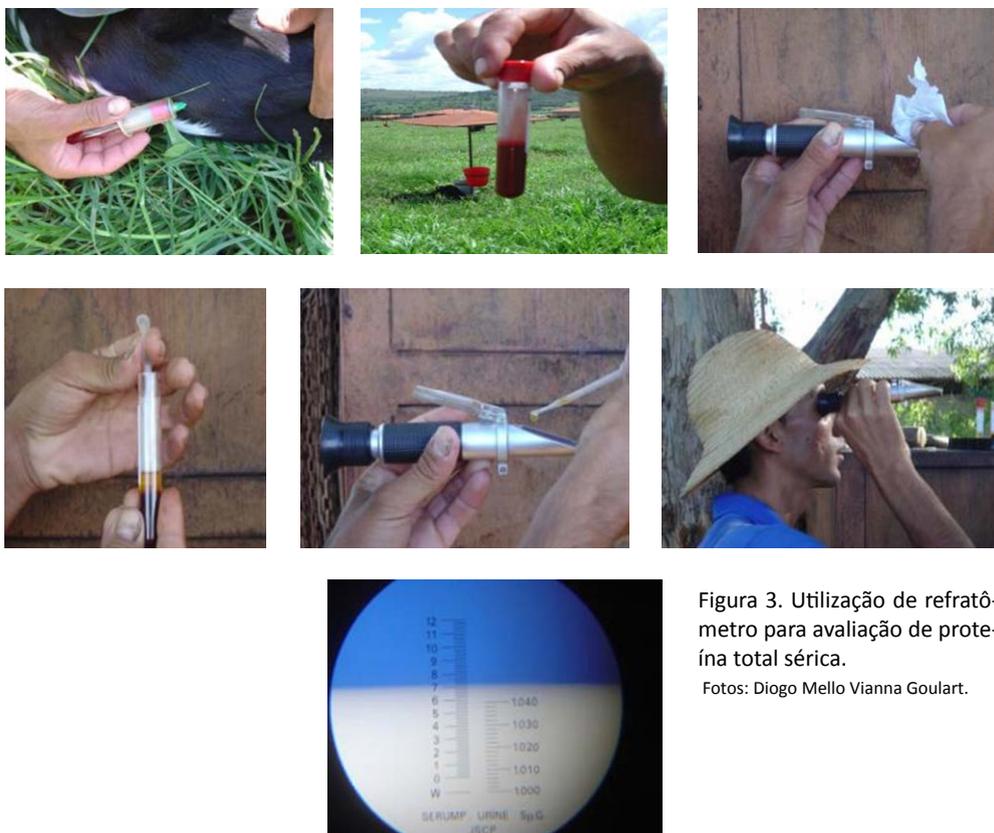


Figura 3. Utilização de refratômetro para avaliação de proteína total sérica.

Fotos: Diogo Mello Vianna Goulart.

obter a dieta líquida em qualquer momento do dia e por vontade própria, dependendo dos objetivos traçados para cada sistema de aleitamento.

Dessa forma, os alimentadores automáticos se tornam alternativa para conseguir atender planos nutricionais adequados. Por outro lado, a possibilidade de fornecer a dieta líquida com maior frequência, de forma mais próxima ao que ocorre no ambiente natural do bezerro criado com a vaca, pode trazer benefícios importantes aos bezerros, reduzindo estresse, melhorando o desempenho e a criação de animais mais saudáveis.

Alguns estudos indicam que o aumento da frequência de alimentação de duas vezes para três ou quatro ao dia aumenta o ganho de peso corporal, a ingestão de concentrados,

Alguns estudos indicam que o aumento da frequência de alimentação de duas vezes para três ou quatro ao dia aumenta o ganho de peso corporal, a ingestão de concentrados, a eficiência alimentar e reduzem a taxa de mortalidade.

a eficiência alimentar e reduzem a taxa de mortalidade. Essas respostas são alcançadas pelo fornecimento mais constante de nutrientes, melhorando o uso da proteína e energia fornecidas aos bezerros. Isso parece ser particularmente importante quando os bezerros recebem menos de 680g de sólidos/

dia. Nessas condições, o longo intervalo entre as alimentações provoca a mobilização de reservas corporais durante noites e madrugadas frias, para manter a temperatura corporal.

Outro benefício possibilitado pelos alimentadores automáticos é que alguns equipamentos preparam o sucedâneo, removendo erros humanos associados a esse processo, além de permitir que os funcionários desempenhem atividade de gestão e **não apenas** de tratadores dos animais.

Para o sucesso no uso dos alimentadores automáticos, é indicado que na primeira semana de vida os animais sejam criados individualmente, para que os cuidados iniciais com a colostragem e cura do umbigo sejam acompanhados de perto. Assim, espera-se que os animais entrem no sistema automático com forte reflexo de sucção e estejam livres de doenças. Outras recomendações são: no dia da inclusão dos bezerros no grupo não deve ser fornecido o leite pela manhã, para que eles cheguem ao novo alojamento ávidos pelo leite; fornecer no mínimo 1,2L de leite a cada refeição, uma vez que refeições com pequeno volume desencorajam os bezerros; evitar diferença de idade entre bezerros maior que três semanas; e fornecer pelo menos quatro refeições com o leite na temperatura entre 38 a 40°C.

Existem diferentes modelos de alimentadores automáticos disponíveis no mercado,



Figura 4. Sistema automático de fornecimento de dieta líquida a bezerros.

Foto: Bruna Figueiredo Silper.

mas geralmente funcionam com o reconhecimento eletrônico dos animais, seguido pela liberação da dieta líquida nos bicos. Normalmente a aprendizagem dos bezerros é rápida e ocorre após as duas primeiras refeições auxiliadas pelos funcionários. É importante paciência durante o aprendizado e, caso seja necessário, os bezerros devem ser acompanhados por mais algumas refeições até conseguirem aprender corretamente a se alimentar sozinhos nesse sistema.

Muitos produtores ficam receosos com casos de mamadas cruzadas em sistemas coletivos, porém bezerros com acesso ao alimentador automático que recebem volume adequado de leite ou sucedâneo não perdem tempo mamando uns nos outros, provavelmente por ter acesso ilimitado ao bico do equipamento e a maiores quantidades de dieta líquida do que em sistemas convencionais de aleitamento.

Além de facilitar o fornecimento da dieta líquida, os alimentadores também podem fornecer relatórios importantes para o acompanhamento dos bezerros na fase de cria, sendo fornecidas informações importantes, tais como: hora e a frequência de visita de cada animal, peso corporal, entre outras. Assim, essas informações podem servir para rápida identificação de animais que estão apresentando mudanças de comportamento, podendo ser tomadas medidas de acompanhamento dos animais, como, por exemplo, a realização de exame clínico do animal. Esse controle ágil com informações constantes fornecidas pelo sistema pode auxiliar a tomada de decisões, sendo que alguns relatórios facilitam o serviço e fornecem listas

de animais que estão apresentando desenvolvimento diferente dos demais.

Os dados de consumo individual podem auxiliar na identificação de animais doentes, uma vez que o comportamento alimentar e o consumo de alimentos são modificados antes do aparecimento dos sinais clínicos das doenças.

Apesar de vantagens como possibilidade de redução de mão de obra, fornecimento da dieta líquida com maior frequência e mais próxima ao que ocorre na natureza, é especialmente importante que a mão de obra que irá utilizar esse sistema seja bem treinada, pois, em

sistemas coletivos de bezerros, independentemente do número de animais, a identificação de diarreias e outras doenças podem ter diagnóstico tardio. A inspeção visual dos animais não deve ser eliminada. Esse acompanhamento diário, no mínimo duas vezes ao dia, é muito importante para garantir o sucesso na fase de cria. É importante lembrar que bezerros requerem muita atenção e aqueles que apresentam quadros de diarreia devem ser removidos do grupo e tratados imediatamente.

A uniformidade dos lotes é importante, pois bezerros mais jovens e mais fracos podem ser prejudicados dentro de lotes heterogêneos. Algumas empresas disponibilizam válvulas contra roubo de dieta, impedindo que bezerros mais fortes consigam consumir a dieta de outros animais. Além disso, é importante que os bezerros tenham acesso a água limpa e fresca e boas condições de alojamento.

O controle do alimentador também é importante, devendo ser monitorado para avaliar se a quantidade de dieta líquida será suficiente para alimentar os animais durante 24 horas, se o processo de mistura está adequado, se a má-

Os dados de consumo individual podem auxiliar na identificação de animais doentes, uma vez que o comportamento alimentar e o consumo de alimentos são modificados antes do aparecimento dos sinais clínicos das doenças.

quina está fornecendo alguma mensagem de erro, se a limpeza automática está ocorrendo de forma eficiente, se alguma parte do equipamento precisa ser substituída. Dependendo do equipamento, após cada visita, o sistema é lavado automaticamente.

A redução gradual de dieta líquida durante o desaleitamento dos bezerros vem sendo cada vez mais indicada para estimular o consumo de dieta sólida e para assegurar transição tranquila entre as dietas. Os alimentadores automáticos podem ser programados para alimentar apenas duas ou quatro vezes por dia determinados animais, em quantidades de dieta líquida determinadas, facilitando o manejo a ser adotado durante o desaleitamento.

Os alimentadores de leite automáticos podem ser muito efetivos na alimentação de bezerros e, mesmo que o investimento no sistema seja relativamente alto, ele pode reduzir os custos, principalmente em relação à mão de obra, em comparação com a alimentação individualizada em baldes ou mamadeiras. É possível economizar algumas horas de trabalhos diários utilizados para fornecimento da dieta, limpeza de baldes e mamadeiras, podendo esse tempo ser utilizado para maior observação dos animais e manutenção do sistema de anotações atualizado.

O uso dos alimentadores automáticos traz algumas vantagens, mas é importante salientar que a qualidade da dieta líquida que está sendo fornecida e todo o ambiente em que os animais estão sendo criados devem ser acompanhados de perto, seguindo o plano alimentar traçado para cada propriedade. A quantidade, a composição nutricional e a temperatura da dieta líquida devem ser disponibilizadas de forma correta e acompanhadas diariamente.

A redução gradual de dieta líquida durante o desaleitamento dos bezerros vem sendo cada vez mais indicada para estimular o consumo de dieta sólida e para assegurar transição tranquila entre as dietas.

Dispositivos para detecção de cio e manejo reprodutivo

A recria de novilhas acima de 12 meses de idade é um período de menores desafios em comparação ao primeiro ano de vida. O maior deles é, provavelmente, a inseminação artificial – e concepção – em idade compatível com a meta de idade ao primeiro parto de cada rebanho. O cumprimento da meta de idade ao primeiro parto é importante para a redução do tempo de vida não produtiva, ou aumento da vida produtiva no rebanho, além de influenciar a produção de leite na primeira lactação. Vacas da raça Holandês com primeiro parto entre 23 e 24,5 meses e peso médio de 603kg apresentaram melhor desempenho produtivo e reprodutivo em relação a animais com primeiro parto abaixo ou acima dessa faixa etária.

A idade ao primeiro parto é relacionada à taxa de ganho de peso, idade à puberdade e percentual do peso adulto para início do programa reprodutivo. Admitindo-se que as novilhas atinjam 65% do peso adulto aos 12 meses, o primeiro parto aos 24 meses de idade seria possível após dois ou três ciclos estrais. Nesse ponto, é importante obter altas taxas de serviço e concepção, dois fatores que podem ser melhorados com uso de tecnologias de precisão para detecção de cio. As tecnologias existentes para manejo reprodutivo são a mensuração de concentração de

progesterona no leite (nesse caso para vacas em lactação), comportamento (contagem de montas e aceitação de montas), mensuração de vocalizações, temperatura corporal e monitoramento de atividade física por meio

de dispositivos, os quais têm sido os mais utilizados.

Há diversos tipos de dispositivos desenvolvidos para monitorar atividade física, os quais utilizam comparações com índices basais do próprio animal para gerar alertas. Os dispositivos mais comuns são: pedômetros com sensores que possibilitam a contagem do número de passos por unidade de tempo, acelerômetros embarcados em pedômetros ou colares, que mensuram a aceleração e direção do movimento, e sensores de ruminção colocados em colares, que mensuram o tempo de ruminção. Pedômetros são colocados no membro anterior ou posterior (Fig. 5), e normalmente fornecem dados de atividade em percentual sobre o período basal, em geral composto pela atividade média da semana anterior a cada dia. Os dispositivos (Fig. 5) com acelerômetro geralmente são usados na forma de colar ou no membro posterior; assim conseguem também detectar a posição do animal (deitado ou de pé), o que em geral não é possível quando o dispositivo é colocado no membro anterior. Alguns exemplos de dispositivos são: *IceTag* e *IceQube* (*IceRobotics*); *SmartDairy Activity* (*Boumatic*); *De Laval Activity Meter System* (*DeLaval*); *Heatime* (*SCR Engineers*); *AfiAct II* (*Afimilk*). A Figura 6 mostra o gráfico de atividade de um animal gerado pelo sistema *Heatime* (*SCR Engineers*).

Novilhas em cio apresentam número de passos aproximadamente 290% maior e passam 6 horas a mais de pé por dia, em

Pedômetros são colocados no membro anterior ou posterior (Fig. 5), e normalmente fornecem dados de atividade em percentual sobre o período basal, em geral composto pela atividade média da semana anterior a cada dia.

As taxas de detecção de cio por monitores de atividade são superiores àquelas obtidas com observação visual, mas pesquisas demonstraram que a combinação de monitores com observação visual duas ou três vezes ao dia é a que apresenta o melhor resultado.

comparação ao período basal. Há grande variação nesses números, mas a magnitude do aumento da atividade física durante o cio confere aos dispositivos de monitoramento de atividade a capacidade de detectar a maioria dos episódios, resultando em maior taxa de serviço quando comparado a de-

tecção de cio visual com base nos comportamentos característicos, como aceitar montas, montar, e cheirar a urina e a região perianal de outros animais.

As taxas de detecção de cio por monitores de atividade são superiores àquelas obtidas com observação visual, mas pesquisas demonstraram que a combinação de monitores com observação visual duas ou três vezes ao dia é a que apresenta o melhor resultado. A precisão (cios detectados corretamente dentre todos os episódios detectados) dos dispositivos de atividade observada para novilhas de 12 a 15 meses de idade foi de aproximadamente 84 a 98%, utilizando-se dois tipos de monitores. Falsos positivos podem ser causados por outros fatores que induzam aumento de atividade física, como presença de outros animais em cio e mudança de lote. A observação visual, a consideração do *status* reprodu-

tivo do animal (data do último cio, diagnóstico de gestação) e a avaliação crítica do inseminador são essenciais para se evitar a inseminação de animais detectados erroneamente (falsos positivos).

Uma das vantagens da detecção de cio com tecnologias de precisão é a informação do momento de início do cio, a qual não pode ser deter-



Figura 5. Monitores de atividade física: *IceTag* (IceRobotics) – esquerda, e colar *Heatime* (SCR Engineers) – direita. Foto: Bruna Figueiredo Silper.

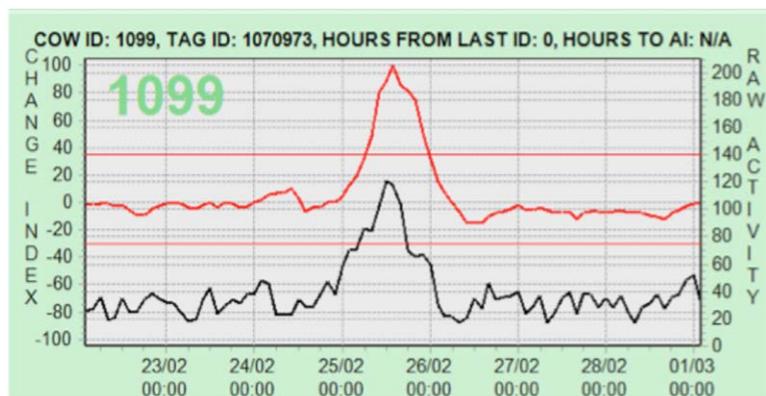


Figura 6. Imagem da tela do monitor *Heatime* (SCR Engineers), demonstrando um episódio de alta atividade. A curva em preto indica a atividade do animal mensurada pelo acelerômetro, e a curva em vermelho representa o índice de atividade corrigido para a atividade da semana anterior. As duas linhas horizontais em vermelho indicam pontos de corte para atividade alta (indicativo de cio) ou baixa (sugestivo de doença), de acordo com o índice.

minada por observação visual nem por outros métodos, como marcadores na base da cauda. Os dispositivos de detecção de cio geram alertas sempre que a atividade física do animal ultrapassa um valor pré-determinado, acima do qual se acredita que o animal está em cio. Pesquisas demonstraram que a inseminação deve ser realizada 12 horas após o momento em que a atividade física ultrapassa esse limi-

te para maior chance de concepção. Dessa forma, animais em cio detectados pela manhã devem ser inseminados à tarde, e aqueles em cio durante a tarde e à noite devem ser inseminados pela manhã. O conhecimento da hora de início do cio permite prever com relativa precisão o momento da ovulação, de modo que a inseminação artificial pode ser realizada no horário de maior probabilidade de concepção.

A aquisição de dispositivos de detecção de cio tem resultados positivos na taxa de serviço e de prenhes dos rebanhos, mas é preciso considerar o custo de implementação e retorno do investimento. Os benefícios são, muito provavelmente, variáveis, de acordo com sistemas e fazendas. A aplicabilidade de tecnologias de precisão para detecção de cio em rebanhos mestiços ou a pasto ainda precisa ser avaliada, uma vez que as pesquisas mencionadas neste documento foram realizadas com gado Holandês de alta produção, em sistemas *free stall*. Além disso, a maioria das pesquisas é realizada com vacas em lactação, uma vez que novilhas apresen-

tam, em geral, melhor desempenho reprodutivo. Muitos rebanhos apresentam adequadas taxas de serviço e concepção sem necessidade de tais tecnologias. Nestes, muitas vezes, o desafio para atingir adequada idade ao primeiro parto é a taxa de ganho de peso durante cria e recria, de modo que, aos 12 meses, as novilhas apresentem peso e tamanho para serem inseminadas. Fazendas com mão de obra escassa ou dificuldade de treinamento, por exemplo, poderiam ser beneficiadas por reduzida necessidade de detecção de cio por observação visual e determinação mais precisa do momento da inseminação artificial.

Referências

1. BLOCH, A. et al. Endocrine alterations associated with extended time interval between estrus and ovulation in high-yield dairy cows. **Journal of Dairy Science**, v. 89, p.4694–4702, 2006.
2. COSTA, J.H.C., et al. Early pair housing increases solid feed intake and weight gains in dairy calves. **Journal of Dairy Science**, v. 98, p.6381–6386, 2015.
3. CRAMER, M.C., and A. L. Stanton. Associations between health status and the probability of approaching a novel object or stationary human in preweaned group-housed dairy calves. **Journal of Dairy Science**, v. 98, p. 7298–7308, 2015.
4. DEELEN, S.M. et al. Evaluation of a Brix refractometer to estimate serum immunoglobulin G concentration in neonatal dairy calves. **Journal of Dairy Science**, v. 97, p. 3838–3844, 2014.
5. ETTEMA, J.F and SANTOS, J.E.P Impact of Age at Calving on Lactation , Reproduction , Health ,and Income in First-Parity Holsteins on Commercial Farms. **Journal of Dairy Science**; v. 87, p.2730–2742, 2004.
6. HEINRICHS, J. and JONES, C. Colostrum Management Tools: Hydrometers and Refractometers. Penn State Extension. 2011.
7. HEINRICHS, A.J. Raising dairy replacements to meet the needs of the 21st century. **Journal of Dairy Science**; v.76, p.3179–3187, 1993.
8. JENSEN, M.B. et al. Pair housing and enhanced milk allowance increase play behavior and improve performance in dairy calves. **Journal of Dairy Science**, v. 98, p.2568–2575, 2015.
9. QUIGLEY, J.D. et al. Evaluation of the Brix refractometer to estimate immunoglobulin G concentration in bovine colostrum. **Journal of Dairy Science**, v. 84, p. 2059–2065, 2013.
10. QUIGLEY, J. Using the Colostrimeter to Measure Colostrum Quality. Calf notes #22. 1998. QUIGLEY, J. Using a refractometer. Calf notes #39. 1998
11. McGUIRK, S.M. and COLLINS M. Managing the production, storage and delivery of colostrum. **Veterinarian Clinical North American Food Animal Practice**, v. 20(3), p. 593–603, 2004.
12. MOORE, D.A. et al. Quality assessments of waste milk at a calf ranch. **J. Dairy Sci.** V. 92, p.3503–3509, 2009.
13. MORRILL, K.M., et al. Validating a refractometer to evaluate immunoglobulin G concentration in Jersey colostrum and the effect of multiple freeze–thaw cycles on evaluating colostrum quality. **Journal of Dairy Science**, v. 98, p.595–601, 2015.
14. NEVES, R.C and LEBLANC, S.J. Reproductive management practices and performance of Canadian dairy herds using automated activity-monitoring systems. **Journal Dairy Science**, v.98, p.2801–2811, 2015.
15. PERALTA, O.A, et al.. Comparison of three estrus detection systems during summer in a large commercial dairy herd. **Animal Reproduction Science**, v. 87, p.59–72, 2005;.
16. PRITCHETT, L.C. et al. Evaluation of the hydrometer for testing immunoglobulin G1 concentrations in Holstein colostrum. **Journal of Dairy Science**, v. 77, p. 1761–1767, 1994.
17. RUTTEN, C.J, et al. Invited review: sensors to support health management on dairy farms. **Journal Dairy Science**, v.96, p.1928–1952, 2013.
18. SILPER, B.F, et al. Automated and visual measurements of estrous behavior and their sources of variation in Holstein heifers. I: Walking activity and behavior frequency. **Theriogenology**, v.84, p.312–320, 2015.
19. SILPER, B.F, et al. Automated and visual measurements of estrous behavior and their sources of variation in Holstein heifers. II: Standing and lying patterns. **Theriogenology**, v.84, p.333–341, 2015.
20. SILPER, B.F, et al. Short communication: Comparison of estrus characteristics in Holstein heifers by 2 activity monitoring systems. **Journal Dairy Science**, v.98, p.3158–3165, 2015.
21. VALENZA, A. et al. Assessment of an accelerometer system for detection of estrus and treatment with gonadotropin-releasing hormone at the time of insemination in lactating dairy cows. **Journal Dairy Science**, v.95, p.7115–7127, 2012.



Manejo de precisão em pastagens

Wagner Matias

Frederico Osório Velasco¹ - CRMV-MG 9619, Alex de Matos Teixeira² - CRMV-MG 9616, Diogo Gonzaga Jayme³ - CRMV-MG 6737, Lúcio Carlos Gonçalves⁴, Rogério Martins Maurício⁵

¹ Doutor Zootecnia UFMG - Pós doc Embrapa/UFSJ

² Professor UFU

³ Doutor Zootecnia UFMG - Professor EVUFMG

⁴ Doutor UFV - Professor EVUFMG

⁵ Professor UFSJ

Introdução

A revolução industrial do início do século XVIII trouxe, além do desenvolvimento dos centros urbanos, um impacto sobre as práticas agrícolas, promovendo aumento dos níveis de mecanização e industrialização para a agricultura, levando a um aumento da produção que impactaria a segurança alimentar em todo o planeta (Overton, 1996). Semelhantemente ao ocorrido naquela época, hoje a civilização humana passa por outra revolução, a “revolução da informação” (Freeman e Louçã, 2001), que já apresenta impactos iniciais, principalmente sobre setores agrícolas. Antes do início da agricultura de precisão, fertilizantes, pesti-

cidas e herbicidas eram tipicamente aplicados a uma taxa padrão em todo o campo, embora seja comum haver grande variação espacial da fertilidade do solo, das pragas e ervas daninhas, resultando em áreas com aplicações excessivas e outras com aplicações insuficientes. A agricultura de precisão é utilizada para monitorar e gerenciar a variabilidade das culturas, aplicando insumos só onde são necessários (Whelan e McBratney, 2000), valendo-se do auxílio de sensores de posicionamento global (GPS) e mapeamento georreferenciado. Essa mesma abordagem pode ser utilizada para o gerenciamento das pastagens (Schellber *et al.*, 2008), usando sensoriamento do momento de colheita ou pastejo, utilização precisa de

insumos, medição da produção de forragem e associado com a gestão do método de pastejo, comportamento e saúde animal.

Não há estatísticas precisas sobre a parcela de cada sistema – em pasto, misto e em confinamento – na produção total de leite no país, porém estima-se que os primeiros participem com mais de 90% (Aguiar, 2011). Segundo Santos *et al.* (2013), a baixa produtividade no país se deve a uma combinação de fatores, dentre eles o baixo potencial genético de boa parte do rebanho, deficiências no manejo nutricional e nas condições de bem-estar animal, exploração extrativista na maior parte das áreas e falta de correto manejo das pastagens. Nos últimos anos, uma série de trabalhos conduzidos por grupos de pesquisa em diferentes regiões do país permitiram acumular conhecimento para o desenvolvimento de técnicas e estratégias de manejo capazes de explorar o máximo potencial produtivo das gramíneas tropicais (Da Silva e Nascimento Júnior, 2007). Por outro lado, o consumo do pasto é o principal fator determinante não apenas do desempenho, mas, principalmente, da eficiência econômica do próprio sistema, já que o pasto se constitui no mais econômico dos alimentos. Assim, indiscutivelmente, maximizar o consumo de forragem de animais em pastejo é o grande desafio em sistemas de produção em pastagens tropicais (Santos *et al.*, 2007).

Esta revisão tem como objetivo abordar os temas relacionados ao manejo de precisão de pastagens, discutir conceitos relacionados à produção animal a pasto, promovendo a interface entre as técnicas de precisão e as respostas das plantas e animais em condições de pastejo.

O consumo do pasto é o principal fator determinante, não apenas do desempenho, mas, principalmente, da eficiência econômica do próprio sistema, já que o pasto se constitui no mais econômico dos alimentos.

Fundamentos para aplicação do conceito de precisão no manejo de pastagens

Manejo do pastejo com foco no componente vegetal

No passado, a perspectiva do manejo das pastagens baseava-se em maximizar a produção de forragem, a partir do manejo da fertilidade do solo, e colher o máximo possível dessa produção. Contudo, o aumento da taxa de crescimento e acúmulo de matéria seca em função da utilização de insumos não foram acompanhados por ajuste no manejo. Dessa forma, os resultados foram taxas de lotação inconsistentes e baixo desempenho individual dos animais (Da Silva, 2013; Quadros *et al.*, 2015).

Nos últimos anos, a pesquisa com plantas forrageiras concentrou esforços em determinar as práticas de manejo necessárias para otimizar o crescimento de plantas tropicais. Em sua maioria, os estudos focaram em determinar o momento para interromper o processo de rebrotamento em condição de lotação intermitente ou manutenção de uma altura ideal em lotação contínua. Especificamente no caso de lotação intermitente, o conceito de índice de área foliar (IAF) crítico, condição na qual a luz incidente (LI) é interceptada em 95%, originalmente descrito e aplicado com sucesso em plantas de clima temperado, demonstrou-se efetivo e válido também para as gramíneas tropicais, sendo a base do manejo pré-pastejo. Segundo Da Silva (2013), a partir do ponto de 95% de LI, o processo de acúmu-

lo de forragem sofreria uma mudança drástica, com redução do acúmulo de folhas fotossinteticamente ativas e aumento do acúmulo de colmos e material senescente. Devido à forte relação entre IAF crítico e altura do dossel, este último parâmetro, em virtude da facilidade de mensuração, tem sido adota-

Devido à forte relação entre IAF crítico e altura do dossel, este último parâmetro, em virtude da facilidade de mensuração, tem sido adotado como critério para determinar o momento adequado de iniciar um pastejo.

do como critério para determinar o momento adequado de iniciar um pastejo (Sbrissia *et al.*, 2012; Sbrissia e Medeiros Neto, 2015).

Quanto à meta de pós-pastejo (resíduo), os trabalhos envolvendo gramíneas tropicais também foram baseados na avaliação de diferentes alturas. Com os valores mais baixos, objetivava-se proporcionar alta eficiência de pastejo, com manutenção de área foliar fotossinteticamente ativa mínima para rebrota, ao passo que os valores mais altos iriam representar uma condição menos estressante para as plantas e mais próxima daquela normalmente utilizada em condições de campo (Da Silva e Nascimento Júnior, 2007; Sbrissia *et al.*, 2014). Dessa maneira, esses protocolos sinalizavam que há um intervalo de resíduo pós-pastejo possível no qual a meta a ser estabelecida deveria considerar que o rebaixamento do dossel se dá por meio do pastejo dos animais e que, por isso, não apenas o componente vegetal deveria basear a tomada de decisão.

Desempenho animal em pastagens

Nos últimos anos, a pesquisa mostrou ser possível obter pastagens tropicais com elevado potencial de produção e alto valor nutricional. Contudo, nem sempre o desempenho animal tem sido compatível com o valor nutricional apresentado pela pastagem, demonstrando que o desempenho possa es-

tar mais associado à não ocorrência de consumo de forragem do que apenas ao valor nutricional da pastagem. Essa premissa pode ser verificada nos trabalhos de Andrade (2003) e Sarmiento (2003), em que bovinos de corte foram mantidos em pastagens de capim-marandu, em regime

de lotação contínua em 4 alturas de pastejo (10, 20, 30 e 40cm). As pastagens manejadas a 10cm apresentaram teor de proteína bruta superior ao das pastagens manejadas a 40cm, porém o consumo de forragem e o ganho de peso foram maiores para os animais mantidos em pastos de capim-marandu manejados a 40cm.

Segundo Sbrissia *et al.* (2014), quando se avalia apenas o valor nutritivo da forragem, existe uma faixa relativamente ampla de alturas em pré-pastejo, onde a composição morfológica e química da forragem potencialmente pastejável não é alterada. Contudo, quando a taxa de ingestão e, possivelmente, o consumo diário de forragem são levados em consideração, essa amplitude deve ser tratada com mais cautela. Dessa maneira, parece lógico dizer que apenas o valor nutritivo da forragem ofertada não é capaz de explicar o desempenho animal. Diferenças no desempenho de animais em pastejo estão relacionadas principalmente a fatores não nutricionais, ou seja, características estruturais do dossel (Sbrissia e Medeiros Neto, 2015).

Manejo do pastejo com foco no componente animal

O processo de pastejo tem seu momento crucial na construção do bocado, cuja massa e respectiva concentração de nutrientes constituem a base do consumo diário (Carvalho

et al., 2009). Portanto, o consumo diário em situações de pastejo é resultado do acúmulo da forragem consumida em cada bocado e da frequência com que o animal o realiza ao longo do tempo em que passa pastejando (Cangiano, 1999). A origem dessa proposição está no trabalho de Allden e Whittaker (1970), que lançaram uma abordagem analítica para estudos em pastejo e propuseram que o consumo diário de um animal seria produto de: $C = MB \times NB \times TP$, em que C é o consumo diário, MB é a massa do bocado, NB refere-se à frequência média dos bocados e TP seria o tempo de pastejo (Carvalho et al., 2005).

O tempo de pastejo é normalmente de 8 horas, podendo atingir 16 horas em situações extremas (Hodgson et al., 1994). Entretanto, segundo Carvalho et al. (1999), o tempo de pastejo é raramente inferior a 6 ou superior a 12 horas. Quando colocado para pastear em pastagens cuja estrutura do dossel não possibilita a obtenção de elevadas taxas de ingestão, o animal tenta compensar tal prejuízo elevando o tempo que destina ao pastejo.

Estudos nacionais relataram, para vacas da raça Holandês e com produção média de 16,5kg de leite/dia, um período de pastejo de 6,7 horas, sendo 37% desse tempo durante o dia e 63% no período noturno (Martinez, 2008). Para vacas 1/2 sangue Holandês x Jersey, com produção média de 17,8kg de leite/dia, os resultados foram muito semelhantes, com tempo médio de pastejo de 6,6 horas, concentrado no período noturno, 67% (Martinez, 2008; Chagas, 2011; Souza, 2014). Por outro lado, os resultados de estudos conduzidos com vacas mestiças

Holandês x Zebu demonstraram que vacas com produção média de 11,9kg de leite/dia apresentaram um tempo de pastejo médio de 10,4 horas, havendo concentração de aproximadamente 74% no período diurno (Zanine et al., 2006, 2007, 2009; Mendes, 2010; Nascimento et al., 2013). Em grande parte, essa diferença no tempo de pastejo refere-se à resposta do animal em pastejo frente ao ma-

nejo aplicado nas pastagens, às condições climáticas da região, manejo dos animais e capacidade de adaptação dos animais ao clima.

Para vacas de leite, o pastejo diário pode ser prejudicado, não apenas pela estrutura do dossel, mas também quando os animais permanecem tempo excessivo na sala de ordenha ou ainda são ordenhados em

períodos nos quais normalmente ocorreriam os picos de pastejo. Sendo assim, o desafio do manejo é determinar qual estrutura de dossel seria capaz de permitir elevadas taxas de ingestão de forragem de modo a assegurar que o animal consiga ingerir uma mesma quantidade de forragem em menos tempo.

Considerando que a massa do bocado é o principal determinante da taxa de ingestão de forragem e do desempenho animal, para fins de manejo do pastejo, torna-se fundamental definir metas de manejo capazes de otimizar a massa do bocado (Carvalho, 2013). Para gramineas tropicais ou temperadas há uma altura, ou seja, uma estrutura do dossel forrageiro que é capaz de otimizar a massa do bocado, seja na lotação intermitente ou na lotação contínua (Mezzalira, 2012). Alturas superiores ou inferiores ao ponto ótimo resultam em comprometimento da massa do bocado e ingestão de forragem.

Considerando que a massa do bocado é o principal determinante da taxa de ingestão de forragem e do desempenho animal, para fins de manejo do pastejo, torna-se fundamental definir metas de manejo capazes de otimizar a massa do bocado.

Em pastagens manejadas em alturas inferiores ao ponto ótimo, há um comprometimento da massa do bocado, principalmente em virtude da limitação imposta na profundidade do bocado. A justificativa para tal resposta baseia-se na constante de proporcionalidade, na qual a profundidade do bocado corresponde a 52% do comprimento dos perfílos (Hodgson *et al.*, 1994). A partir da compilação de 224 observações obtidas a partir dos mais diversos protocolos experimentais, com diferentes animais, espécies forrageiras e métodos de pastejo, Carvalho *et al.* (2013) demonstraram essa correlação.

Por outro lado, em alturas superiores ao ponto ótimo, a maior profundidade do bocado não seria capaz de compensar a pouca densidade de forragem e a dispersão de lâminas nos estratos mais superiores do dossel, forçando os animais a colher menos folhas em cada bocado ou até mesmo folhas individuais, reduzindo a massa do bocado (Gonçalves *et al.*, 2009). À medida que se eleva a altura do pasto, há um aumento no comprimento das lâminas foliares (Carvalho *et al.*, 2001; Martinichen, 2006; Palhano *et al.*, 2007), sendo esse comportamento importante principalmente em gramíneas de porte elevado, como alguns cultivares de *Panicum maximum*, capim-elefante, entre outros. Diante desse aumento no comprimento das folhas, o animal demanda mais tempo para o processo de prensão das lâminas foliares. Em pastagens de capim-mombaça, quando a altura do dossel passou de 60 para 140cm, houve um acréscimo de 100% no tempo de formação

Determinada qual altura do dossel proporciona máxima taxa de ingestão, se faz necessário compreender como as alterações da estrutura do dossel, que vão surgindo à medida que ocorre o processo de rebaixamento do pasto, afetam a taxa de ingestão de forragem.

de bocados por novilhas leiteiras (1,95 x 3,99 segundos) (Palhano *et al.*, 2007).

Determinada qual altura do dossel proporciona máxima taxa de ingestão, se faz necessário compreender como as alterações da estrutura do dossel, que vão surgindo à medida que ocorre o processo de rebaixamento do pasto, afetam a taxa de ingestão de forragem.

O processo de rebaixamento do pasto pelo animal se dá por meio de uma sucessão de bocados, obedecendo a um processo mecânico, em que os bocados removem camadas sucessivas equivalentes à metade (50%) da altura do estrato pastejável (Laca *et al.*, 1992; Carvalho *et al.*, 2001), caracterizando assim um pastejo em horizontes.

De acordo com Ungar (1998), a exploração de um segundo horizonte pelo animal ocorreria quando o primeiro estivesse reduzido em 15 a 30% do total da superfície inicial, intervalo no qual se enquadra o modelo proposto por Baumont *et al.* (2004). Esse comportamento foi demonstrado no estudo de Fonseca *et al.* (2012b), no qual a mudança para o segundo horizonte ocorreu quando foi removido 70-80% do primeiro horizonte. Em pastagens de capim-qui-cuiu, Medeiros Neto (2015) verificou 29% de área não pastejada quando foi atingida uma severidade de desfolhação de 40% da altura inicial de pastejo. Nesse estudo foi demonstrado que a área pastejada apenas uma vez (horizonte superior do dossel) foi inversamente relacionada com a severidade de desfolhação. Quando a severidade de desfolhação subiu de 40% para 62% da altura inicial de pastejo, a exploração de horizontes

inferiores mudou de 25% da área total pastejada para 65%.

À medida que se sucede o rebaixamento e os estratos superficiais vão sendo removidos, a altura média vai diminuindo juntamente com a proporção de lâminas foliares (Carvalho *et al.*, 2009). Segundo Zanini *et al.* (2012), aproximadamente 90% do total de colmo presente no pasto concentra-se no estrato correspondente a 50% da altura inicial do pasto, quando esta é tomada a partir do nível do solo, para o capim-aruaana e azevém anual manejados sob lotação intermitente. Além disso, a densidade de forragem é incrementada e a relação folha:colmo do dossel diminui (Barrett *et al.*, 2001). Trabalhando com azevém anual, Amaral (2009) observou que a relação lâmina foliar:colmo+bainha passou de 5,7:1 para 1,8:1 quando comparados os estratos de 15 a 10cm com o estrato de 10 a 05cm.

Essas mudanças nas características estruturais do dossel, à medida que ocorre o processo de rebaixamento, resultam no comprometimento da massa do bocado devido à redução da profundidade e da área do bocado, consequência da menor altura do horizonte, composto por folhas e do aumento da frequência de estruturas antiqualitativas, respectivamente (Barthram e Grant, 1984; Amaral, 2009). Como reflexo, observa-se uma progressiva redução na taxa de ingestão de forragem (Barrett *et al.*, 2001; Baumont *et al.*, 2004). Dados de estudos conduzidos com gramíneas tropicais (sorgo forrageiro, capim-tifton 85) apontam que a taxa de ingestão se mantém constante até que se remova 40% da altura inicial do pasto (Fonseca *et al.*, 2012a; Mezzalira, 2012), sugerindo que essa deva ser

a meta de rebaixamento para não haver prejuízo no consumo de forragem.

Tecnologias de precisão e eficiência do manejo de pastagens

Gestão de insumos fertilizantes (tipo, dose e época) são decisões críticas em muitos sistemas de pastagens agrícolas. Essas decisões são normalmente baseadas em informações que avaliam química e fisicamente o solo ou a forragem. No entanto, esse dado é demorado para se obter, caro e sofre de problemas de amostragem, como consistência e representatividade. O sensoriamento remoto tem potencial para aliviar alguns desses problemas.

Mapas de distribuição espacial da qualidade do pasto podem indicar indiretamente o estado de nutrientes do solo que permitem destacar as áreas limitadas de nutrientes. A informação espacial dos níveis de proteína das pastagens pode indicar o *status* de nitrogênio do solo, permitindo a implementação de taxa variável ou manejo da adubação sí-

tio-específico, com fertilizante aplicado de acordo com o potencial que a planta é capaz de responder, reduzindo o uso de fertilizantes e o impacto ambiental. Aplicação de taxa variável de fertilizante pode melhorar significativamente a produção econômica, com um excedente de caixa 26% maior, sobre aplicação generalizada de fertilizantes em extensos sistemas de pastejo (Murray e Yule, 2007).

O valor da estimativa de qualidade de pasto para os serviços ambientais e ecológicos dependerá do sistema pastoril, a sua capacidade para atender às exigências nutricionais dos animais e as pressões ambientais internas

O valor da estimativa de qualidade de pasto para os serviços ambientais e ecológicos dependerá do sistema pastoril, a sua capacidade para atender às exigências nutricionais dos animais e as pressões ambientais internas e externas.

e externas. Um exemplo são as grandes áreas de pastagens degradadas presentes no cerrado brasileiro, resultado de sobrepastejo e manejo inadequado da terra. Informações de qualidade espacial do pasto podem auxiliar na gestão dessas áreas. Esses benefícios podem levar a uma melhor compreensão da contribuição de diferentes componentes da vegetação, como a integridade da paisagem e disponibilidade de nutrientes para os animais. A qualidade da pastagem também tem forte influência sobre o metano dos animais e emissões de óxido nitroso. Um estudo feito por Harper *et al.* (1999) revelou que o gado ao pastear um pasto de baixa qualidade tem uma perda média de 8% da energia bruta consumida na forma de metano, enquanto bovinos alimentados com pasto de qualidade altamente digestível perdem 6%. O sensoriamento remoto global do pasto pode ser uma alternativa com potencial de contribuição nos estudos relacionados às emissões de gases de efeito estufa.

Utilização de Veículos Aéreos Não Tripulados e imagens via satélite para avaliação de pastagens

A fim de maximizar a produtividade, são necessárias tecnologias eficientes e confiáveis que permitam aos agricultores basear as decisões de gestão em informações precisas e atuais. Uma dessas áreas é a gestão de pastagens, em que a medição precisa da biomassa de pastagem e de qualidade é essencial para uma boa tomada de decisão. Na agricultura de precisão são aplicadas técnicas geoespaciais, como sensoriamento remoto, sistemas de informação geográfica (GIS) e Sistemas de Posicionamento Global (GPS) para a identificação da variabilidade no campo e desenvolver estratégias para lidar com

essas variações (Zhang E Kovacs, 2012).

Produtos de sensoriamento remoto, como imagens aéreas e de satélite, bem como métodos de detecção proximal, são importantes fontes de informação. As técnicas de sensoriamento remoto têm sido utilizadas para fornecer informações relevantes para a avaliação da condição da vegetação, a partir da análise de bandas espectrais (Batistella *et al.*, 2011; Bolfe *et al.*, 2011; Andrade *et al.*, 2013). No entanto, poucos são os estudos no Brasil que utilizam dados de sensoriamento remoto para avaliar a variabilidade espacial da área foliar de pastagens, apesar de algumas iniciativas (Andrade *et al.*, 2013). Além disso, não havia relatos do uso de imagens de alta resolução espacial na estimativa do IAF de pastagens (Andrade *et al.*, 2014). Analisando a variabilidade espacial do IAF de pastagens, utilizando dados coletados em campo por meio do sensor ativo Crop Circle ACS-430 e imagem de alta resolução espacial proveniente do satélite WorldView-2, Andrade *et al.* (2014) observaram que as estimativas do IAF da pastagem foram consistentes com a literatura, tanto ao utilizar o Crop Circle quanto a imagem do WorldView-2, e que ambos seriam alternativas interessantes para tomadas de decisões voltadas para o controle da perda do potencial produtivo das pastagens.

Porém, para o gerenciamento sítio-específico de piquetes, fonte de dados via satélite têm algumas limitações. Mesmo que a resolução espacial de produtos de imagem de satélite tenha sido melhorada continuamente nos últimos anos, ainda não é possível obter dados em intervalos temporais altos, limitando a possibilidade de acompanhamento dos estádios críticos de crescimento da cultura (Primicerio *et al.*, 2012). Além disso, áreas de pastagens comumente estão cobertas por nuvens, principalmente durante os períodos de verão, impedindo que informações preci-

sas possam ser extraídas a partir de imagens de satélite. Métodos de sensoriamento remoto proximais estão disponíveis para os agricultores, mas eles são trabalhosos e as decisões são frequentemente baseadas em um pequeno tamanho da amostra. Veículos Aéreos Não Tripulados (os drones ou VANTs) tornaram-se recentemente objeto de uma série de estudos que avaliam a sua aplicabilidade para a agricultura de precisão e se apresentaram como

Veículos Aéreos Não Tripulados (os drones ou VANTs) tornaram-se recentemente objeto de uma série de estudos que avaliam a sua aplicabilidade para a agricultura de precisão e se apresentaram como alternativa promissora pela flexibilidade e capacidade de adquirir dados em tempo real de culturas e pastagens, além de parâmetros biofísicos relevantes.

alternativa promissora pela flexibilidade e capacidade de adquirir dados em tempo real de culturas e pastagens, além de parâmetros biofísicos relevantes. Utilizar plataformas controladas remotamente também pode melhorar a compreensão dos processos entre satélite e sensores aerotransportados, adicionando uma nova camada de informação espacial.

Existem dois critérios importantes para que os sensores possam ser embarcados em veículos aéreos não tripulados. Deve ser leve e ser programável do chão para operação autônoma quando transportado por via aérea. Até recentemente, as restrições de carga útil eram um impedimento à sua utilização prática para aplicações de sensoriamento remoto. Agora, com a crescente disponibilidade de câmeras e sensores leves, tornou-se possível anexá-los em plataformas controladas remotamente e, por meio de *firmware* personalizado, é possível programá-los, adquirir imagens em intervalos de tempo específicos e em posições de GPS pré-definidos. O *firmware* da câmera permite pré-definir todos os parâmetros de imagens relacionadas, tais como tempo de exposição, o atraso entre as imagens, bem como o formato e tamanho

da imagem. Além disso, cartões de memória de alta capacidade permitem o armazenamento de grande quantidade de imagens em alta resolução. Câmeras infravermelho também podem ser utilizadas para obtenção de imagens em diferentes espectros do solo e da pastagem. Para extrair informações quantitativas de imagens aéreas, os valores de pixel deve ser calibrados para reflectância e correção geométrica

(Kelcey e Lucieer, 2012).

Avaliando a cobertura verde das pastagens cultivadas em duas áreas experimentais no município de Uberlândia, Minas Gerais, por meio de VANTs a 130 metros do solo, Brito *et al.* (2015) encontraram correlações positivas de 0,85 em comparação com fotografias tiradas a 1,5m. Alves *et al.* (2015) avaliaram o uso de Drone Agrícola para a identificação de falhas no plantio de cana-de-açúcar, no município de Uberaba, Minas Gerais, e verificaram diferença entre a área observada remotamente (28,03% de falha no plantio) em relação à observação manual (14,76%). Segundo os autores, a metodologia testada mostrou-se promissora, mas apresentou limitações para a geração do processamento de imagens e que aplicações mais promissoras poderão advir do uso de tecnologias mais sofisticadas, que permitem a realização de planos de voos, pontos de controle e georreferenciamento automático de imagens.

No Brasil, a utilização dos VANTs como ferramenta auxiliar nos setores agropecuários está em expansão. No entanto, o uso destes ainda não é completamente regu-

lamentado pela Agência Nacional de Aviação Civil (ANAC). Recentemente o órgão deu o primeiro passo dessa regulamentação, classificando os tipos de aeronaves não tripuladas, o requerimento para o registro, a manutenção e a liberação de habilitação do piloto remoto experimental (Brasil, 2015). Ainda segundo a ANAC, qualquer objeto que se desprenda do

chão e seja capaz de se sustentar na atmosfera – com propósito diferente de diversão – estará sujeito às regras de acesso ao espaço aéreo brasileiro. Desse modo, todo o voo de Aeronaves Remotamente Pilotadas (RPA) precisa de autorização do Departamento de Controle do Espaço Aéreo (DECEA).

Sensores para avaliação do comportamento animal, escore de condição corporal e saúde animal

Informações obre o comportamento de pastejo e o tempo gasto pastejando pode ser de grande interesse para o produtor, uma vez que essa informação pode ser indicativa da saúde animal e o quão adequada está a pastagem. Normalmente bovinos pastejam em torno de nove horas por dia (Phillips, 2002) e uma mudança no tempo de pastejo e comportamento de pastejo pode refletir a qualidade do pasto (Fraser, 1983).

Com o declínio da qualidade da pastagem, os animais podem alterar seu comportamento de pastejo (Albright e Avaré, 1997), como a extensão do tempo gasto pastejando, e aumentar a sua taxa de bocados (O'Driscoll *et al.*, 2010). O monitoramento

Sistemas automatizados para monitorar o comportamento de bovinos dentro dos sistemas de produção tornaram-se cada vez mais importantes e relativamente comuns. Hoje, há uma série de dispositivos que podem medir o posicionamento e a velocidade de caminhada dos animais.

visual muitas vezes é difícil, seja pelo grande tempo gasto ou pela necessidade de mão de obra. Sistemas automatizados para monitorar o comportamento de bovinos dentro dos sistemas de produção tornaram-se cada vez mais importantes e relativamente comuns. Hoje, há uma série de dispositivos que podem medir o posicionamento e a velocidade de caminhada dos

animais (O'Driscoll *et al.*, 2008; Aharoni *et al.*, 2009; Darr e Epperson, 2009; Bewley *et al.*, 2010; Ledgerwood *et al.*, 2010), o comportamento de locomoção (Martiskainen *et al.*, 2009; Moreau *et al.*, 2009; Pastell *et al.*, 2009; De Passillé *et al.*, 2010), o movimento da mandíbula (Umamura *et al.*, 2009), os sons relacionados a morder e mastigar (Laca e Wallisdevries, 2000), a massa mordida e taxa de ingestão (Rutter *et al.*, 1997; Gibbs *et al.*, 1998; O'Driscoll *et al.*, 2010).

Pastell *et al.* (2009) utilizaram um acelerômetro tridimensional para distinguir vacas com problemas de claudicação e vacas saudáveis. Um sensor foi montado para cada perna em 11 vacas, 5 saudáveis e 6 doentes. O modo de andar das vacas foi filmado, para futura comparação com os dados medidos. Diferenças de aceleração na marcha de vacas saudáveis e de doentes não poderiam ser vistas claramente nos dados brutos, mas as diferenças de simetria entre as pernas foram imediatamente detectadas. Robert *et al.* (2009) utilizaram um acelerômetro triaxial em seu estudo de comportamento em bezerros, e conseguiram distinguir o comportamento de estação, deitado ou em pé, de outros comportamentos com uma precisão de 99,2% e 98,0%, respectivamente. Já o comportamento

de andar foi classificado com uma precisão de 67,8%. Müller e Schrader (2003) avaliaram a utilização de um acelerômetro para analisar o comportamento de vacas em lactação. Por amostragem a 32Hz, com um intervalo de registro de um minuto, eles conseguiram distinguir baixa atividade (deitado) de alta atividade (locomoção).

Os pesquisadores tentaram historicamente uma variedade de tecnologias para registrar o comportamento de pastejo dos ruminantes. Acelerômetros presos à cabeça do animal podem ser utilizados para estimar o tempo de pastejo e consumo estimado com uma precisão entre $\pm 1,2$ e $\pm 1,4$ kg/vaca/dia (Oudshoorn *et al.*, 2012).

A gravação e análise dos sons associados a pastagem apresenta potencial de utilização. O sinal acústico produzido por um animal pastejando pode ser usado para determinar sons de morder e mastigação (Laca *et al.*, 1992), bem como uma estimativa da quantidade de consumo de matéria seca (Laca e Wallisdevries, 2000) e, potencialmente, espécies de plantas que estão sendo consumidas (Ungar e Rutter, 2006).

Umamura *et al.* (2009) utilizaram sensor de ruminação que registrava os movimentos mandibulares e era capaz de estimar a ingestão de pasto. O sensor consistia em um pêndulo que registrava os movimentos mandibulares quando a cabeça do animal estava inclinada para baixo. No entanto, o sistema não conseguiu distinguir entre mordidas preênses e de mastigação.

Laca e Wallis De Vries (2000) usaram gravações de vídeo e um microfone sem fio para distinguir os sons de morder e mastigar, a fim de estimar o consumo de forragem. O

microfone foi colado na testa de quatro novilhos, com um transmissor ligado à cabeçada, e conseguiu classificar 954 movimentos de morder e mastigar com uma precisão de 94%. Os microfones foram mais precisos para distinguir movimentos de mastigação em comparação com movimentos de apreensão da forragem. Os autores mencionaram que diferentes estruturas da forragem podem alterar o

espectro de som, e que indivíduos diferentes produzem sons diferentes. A estrutura dentária, o tamanho e a forma da cabeça podem interferir nos resultados.

Embora a pesquisa original em bioacústica de pastejo tenha utilizado o ouvido humano, já existem algoritmos capazes de executar essa tarefa (Milone *et al.*, 2009). Hoje já existe sistema comercial que monitora o comportamento de ruminação e permite a detecção de estro e problemas de saúde (Heatime® Pro System - SCR Dairy).

A medida de peso e forma são informações importantes para a gestão de bovinos a pasto. No entanto, devido ao aumento do número de animais pela crescente escala de produção, a avaliação da condição corporal envolve altos custos e necessidade de mão de obra, tornando-se de aplicação limitada, impossibilitando a detecção de mudanças significativas em um curto período de tempo. Existe correlação entre o peso do gado, altura da cernelha e largura do quadril (Tomizawa, 1989); assim, a avaliação de imagem 3D pode permitir a estimativa de peso.

Leroy *et al.* (2005) investigaram a possibilidade de cálculo automático do Escore de Condição Corporal (ECC) com uma técnica de imagem 2D em vacas holandesas. As imagens foram tiradas do ponto de vista traseiro

A gravação e análise dos sons associados a pastagem apresenta potencial de utilização. O sinal acústico produzido por um animal pastejando pode ser usado para determinar sons de morder e de mastigação.

dos animais, ao mesmo tempo em que avaliadas por diferentes profissionais treinados, que a classificavam em uma escala de 1 a 5. Para avaliação do ECC a partir da fotografia, uma imagem binária foi criada e 19 pontos de contorno no corpo da vaca foram escolhidos para observação. O ECC foi então estimado por comparação do contorno da vaca teste com contornos de vacas de referência com ECC conhecidos. O desvio entre ECC estimados pela câmera e pontuação dada pelo assessor foi, em média, 0,27 unidades, o mesmo erro entre avaliadores. Em estudo semelhante com imagens digitais, Bewely *et al.* (2008) mostraram que 100% dos ECC previstos foram dentro de 0,5 pontos da ECC pontuação real.

A medida da cernelha e altura do quadril de animais a pasto obtidas por imagens 3D foram relatadas por Kida *et al.* (2012). Segundo os autores, a correlação entre a altura da cernelha real e estimada pela imagem 3D foi alta, tanto para bovinos da raça Holandês ($r = 0,67$) como Wagyu ($r = 0,92$). As correlações de altura da cernelha e peso foram de $r = 0,55$ para Holandês e $r = 0,83$ para o Wagyu. Esses resultados indicam que a análise de imagens 3D é um meio eficaz de avaliar o crescimento de bovinos em pastagens. No entanto, tempo e esforço são necessários para se obter imagens em 3D de bovinos em pastejo nas pastagens. O tempo médio para a realização de cada fotografia foi de 3,5 minutos por animal. Outro problema relatado foi o difícil reconhecimento individual do animal a partir de imagens em 3D. Portanto, pode ser necessário realizar marcações diferenciadas para discriminar indivíduos. A instalação de câmeras digitais 3D perto das fontes de água ou em cochos pode facilitar a captura de imagens automáticas do gado.

Uso de cercas virtuais para o manejo de animais em pastejo

Para gerenciar animais a pasto, é necessário controlar onde estão autorizados a pastejarem. Ao longo da história, na domesticação de animais ruminantes, esse controle foi conseguido diretamente, através de um “pastor” humano; e essa abordagem é ainda utilizada em algumas partes do mundo (Rutter, 2013). Na década de 1940, cercas elétricas foram introduzidas, permitindo uma abordagem mais flexível para o controle da pastagem. Uma abordagem alternativa é colocar um energizador sobre o animal. Este recebe um aviso sonoro de que se aproxima de um local onde seria seu limite de pastejo; em seguida, recebe um choque elétrico caso ele continue a se mover em direção ao local. Esse sistema é conhecido como “barreira invisível”, apesar de, na prática, os animais poderem ver e aprender a evitar o sinal (Umstatter *et al.*, 2012).

Esse sistema, em conjunto com um localizador GNSS preso ao animal, permite o conceito de “cercas virtuais”; os sinais de aviso (sonoro e elétrico) são acionados quando o animal se aproxima de um limite virtual definido por uma série de coordenadas de latitude e longitude (Anderson, 2006). A principal vantagem em relação às cercas tradicionais é sua grande flexibilidade, permitindo alteração dinâmica do local de pastejo do animal, principalmente quando aliado às tecnologias de sensoriamento remoto.

Um problema potencial com cercas virtuais é a preocupação com o bem-estar animal sobre o uso de animais utilizando “colares de choque”. Umstatter *et al.* (2009) avaliaram, como alternativa ao choque, estímulos aversivos de diferentes sons (seres humanos gritando e cães latindo), no entanto os animais se habituavam ao som e paravam de responder ao estímulo.

Embora essas tecnologias existentes estejam ajudando a melhorar a eficiência da utilização da forragem por ruminantes em pastejo, ainda agem pontualmente no sistema de produção, e não conferem precisão adequada para o controle de manejo do pastejo. A fim de gerir de forma mais precisa o pastoreio eficiente de animais domésticos, essas tecnologias precisam determinar a posição do animal, a qualidade do pasto disponível e, em seguida, o sistema precisa definir qual o próximo local adequado de pastejo do animal (Rutter, 2013).

O Sistema Global de Navegação por Satélite (GNSS) foi usado pela primeira vez para determinar a localização de ruminantes domésticos (ovelhas) em um estudo de pesquisa em 1993 (Rutter *et al.*, 1997). Embora o custo e o consumo de energia de receptores GNSS tenham reduzido desde que foram introduzidos pela primeira vez, a sua utilização ainda enfrenta desafios (Trotter, 2012). A tecnologia para determinar a localização animal já está bem desenvolvida e está começando a aparecer em uso comercial. Por exemplo, o CowView (GEA Farm Technologies GmbH, Bönen, Alemanha) utiliza a tecnologia de identificação por radiofrequência ativa de banda ultralarga (RFID) para localizar com precisão (30-50cm) vacas, individualmente, equipadas com um colar. O sistema é utilizado principalmente para ajudar na detecção do estro em vacas leiteiras.

Considerações Finais

O mundo vive uma rápida transformação, principalmente no setor tecnológico. O emprego de novas tecnologias tem ajudado a entender melhor a fisiologia e comportamento de forrageiras e animais em pastejo, auxiliando no desenvolvimento de um sistema mais dinâmico e produtivo.

No entanto, apesar de promissoras, muitas dessas tecnologias ainda estão em estágios iniciais de desenvolvimento, e muito estudo deve ser realizado para compreender a real utilidade e viabilidade nos diferentes sistemas de produção.

Referências bibliográficas

1. AGUIAR, A. P. A. Falta um programa eficiente para melhorar o rebanho leiteiro do Brasil. In: ANUALPEC. Anuário da pecuária brasileira. 18.ed. São Paulo: FNP Consultoria e Agroinformativos. p.217-218. 2011.
2. AHARONI, Y.; HENKIN, Z.; EZRA, A.; DOLEV, A.; SHABTAY, A.; ORLOV, A.; YEHUDA, Y.; BROSH, A. Grazing behavior and energy costs of activity: A comparison between two types of cattle. **Journal of Animal Science**. v.87, 2719-2731. 2009.
3. ALBRIGHT, J.L.; ARAVE, C.W. 1997. *The behaviour of cattle*. CAB International, Wallingford
4. ALLDEN, W.G.; WHITTAKER, A. McD. The determinants of herbage intake by grazing sheep: The interrelationship of factors influencing herbage intake and availability. **Australian Journal of Agricultural Research**, v.21, p. 755- 66. 1970.
5. ALVES, M. O.; FERREIRA, R. V.; GALLIS, R. B. A.; OLIVEIRA, J. V. M. O Uso de Imagens do “Drone Agrícola” para Identificação de Falhas no Plantio de Cana-de-Açúcar. In VII SIMPÓSIO TECNOLOGIA DE PRODUÇÃO DE CANA-DE-AÇÚCAR. Piracicaba, SP. 2015, **Anais ...** 2015, p. 1-3.
6. AMARAL, M.F. **Estruturas de pasto para elevadas velocidades de ingestão: um modelo para sistemas leiteiros**. Porto Alegre: UFRGS, 2009. 173f. (Dissertação de Mestrado). Universidade Federal do Rio Grande do Sul, UFRGS, 2009.
7. ANDERSON, D. M. Virtual fencing – a concept into reality: Spatial Grazing Behaviour Workshop *Proceedings*, Rockhampton, Queensland, CSIRO. pp. 61-91. 2006
8. ANDRADE, F.M.E. **Produção de forragem e valor alimentício do campo-Marandu submetido a regime de lotação contínua por bovinos de corte**. Piracicaba: Esalq, 2003. 125f. Dissertação de Mestrado. Escola Superior de Agricultura “Luiz de Queiroz”, Esalq, 2003.
9. ANDRADE, R. G.; RODRIGUES, C. A. G.; SANCHES, D.A. I.; TORRESAN, F. E.; QUARTAROLI, C. F. Uso de técnicas de sensoriamento remoto na detecção de processos de degradação de pastagens. **Engenharia na Agricultura**, v. 21, n. 3. p. 234-243, 2013.
10. ANDRADE, R. G.; VICENTE, L. E.; GREGA, C. R.; NOGUEIRA, S. F.; RODRIGUES, C. A. G. Análise espacial do índice de área foliar de pastagens utilizando Crop Circle e imagem WorldView-2. In: Agricultura de pre-

- cição: Resultados de um Novo Olhar. Bernardi, [et al.], editores técnicos. – Brasília, DF: Embrapa, 2014. Cap. 52, p. 500-506.
11. BARRETT, P.D.; LAIDLAW, A.S.; MAYNE, C.S. *et al.* Pattern of herbage intake rate and bite dimensions of rotationally grazed dairy cows as sward height declines. **Grass and Forage Science**, v.56, p.362-373, 2001.
 12. BARTHURAM, G.T.; GRANT, S.A. Defoliation of ryegrass-dominated swards by sheep. **Grass and Forage Science**, v.39, n.3, p.211-219, 1984.
 13. BATISTELLA, M.; ANDRADE, R.G.; BOLFE, É.L.; VICTORIA, D.C.; SILVA, G.B.S. Geotecnologias e gestão territorial da bovinocultura no Brasil. **Revista Brasileira de Zootecnia**, v.40, supl. especial, p.251-260, 2011
 14. BAUMONT, R.; COHEN-SALMON, D.; PRACHE, S. *et al.* A mechanistic model of intake and grazing behaviour in sheep integrating sward architecture and animal decisions. **Animal Feed Science and Technology**, v.112, p.5-28, 2004.
 15. BEWELY, J.; PEACOCK, A.; LEWIS, O.; BOYCE, R.; ROBERTS, D.; COFFEY, P.; KENYON, S.; SCHUTZ, M.. Potential for estimation of body condition scores in dairy cattle from digital images. **J. Dairy Sci.** v 91, p. 3439-3453. 2008.
 16. BEWLEY, J. M.; BOYCE, R. E.; HOCKIN, J.; MUNKSGAARD, L.; EICHER, S. D.; EINSTEIN, M. E.; SCHUTZ, M. M.. Influence in milk yield, stage of lactation, and body condition on dairy cattle lying behaviour measured using an automated activity-monitoring sensor. **Journal of Dairy Research**, v. 77, p. 1-6. 2010.
 17. BOLFE, É.L.; ANDRADE, R.G.; VICENTE, L.E.; BATISTELLA, M.; GREGO, C.R.; VICTORIA, D.C. **Uso de geotecnologias no monitoramento de sistemas de integração lavoura-pecuária-floresta**. In: BUNGENSTAB, D.J. (ed.). **Sistemas de integração lavoura-pecuária-floresta: a produção sustentável**. Campo Grande, MS: Embrapa Gado de Corte, 2011. Cap. 7, p. 73-80.
 18. BRASIL. PORTAL BRASIL. Força Aérea esclarece normas para voos de drones no Brasil. Publicado em 09/03/2015. Disponível em Acesso em 17/10/2015. <<http://www.brasil.gov.br/defesa-e-seguranca/2015/03/forca-aerea-esclarece-normas-para-voos-de-drones-no-brasil>>
 19. BRITO, J.L.; FERREIRA, L.G.; SILVA, F. R.; ARANTE, A. E. Utilização de imagens aéreas de um Veículo Aéreo Não-Tripulado (VANT) para estimativa de cobertura verde das pastagens cultivadas em duas áreas experimentais no município de Uberlândia – MG. In: XVII SIMPÓSIO BRASILEIRO DE SENSORIAMENTO REMOTO. João Pessoa-PB, **Anais...** 2015. P 1260-1367.
 20. CANGIANO, C.A. **Conpast 3.0, Programa de computación para la estimación del consumo de bovinos en pastoreo**. 1999, 228 p.
 21. CARVALHO, P. C. F. Can grazing behavior support innovations in grassland management?. In: International grassland congress, 22, 2013, Sydney. **Proceedings...** Sydney, 2013. p.1134-1148.
 22. CARVALHO, P. C. F.; TRINDADE, J. K.; BREMM, C.; *et al.* Comportamento Ingestivo de Animais em Pastejo. In: **Forrageicultura: Ciência, Tecnologia e Gestão de Recursos Forrageiros**. Gráfica Multipress: Jaboticabal, SP, 2013. p.525-545.
 23. CARVALHO, P.C., GENRO, F., T. C. M., GONÇALVES, E.N., E BAUMONT, R.. A Estrutura do Pasto como Conceito de Manejo: Reflexos sobre o Consumo e a Produtividade. In: **Simpósio sobre Volumosos na Produção de Ruminantes** – Eds. Reis, R.A. *et al.* Jaboticabal, 2005. **Anais**. Jaboticabal: FUNEP, 2005. p. 107-124.
 24. CARVALHO, P.C.F.; MARÇAL, G.K.; RIBEIRO FILHO, H.M.N. *et al.* Pastagens altas podem limitar o consumo dos animais. In: Reunião anual da sociedade brasileira de zootecnia, 38. Piracicaba. **Anais...** Piracicaba, p.265-268, 2001.
 25. CARVALHO, P.C.F.; PRACHES, S.; DAMASCENO, J.C. O processo de pastejo: desafios da procura e apreensão da forragem pelo herbívoro. In: REUNIÃO ANUAL DA SOCIEDADE BRASILEIRA DE ZOOTECNIA, 36., 1999, Porto Alegre. **Anais...** Porto Alegre: Sociedade Brasileira de Zootecnia, 1999. p. 253 -268.
 26. CARVALHO, P.C.F.; TRINDADE, J.K.; MEZZALIRA, J.C. *et al.* Do bocado ao pastoreio de precisão: compreendendo a interface planta animal para explorar a multifuncionalidade das pastagens. **Revista Brasileira de Zootecnia**, v.38 (supl. especial), p.109-122, 2009.
 27. CHAGAS, L.J. **Teor de proteína no concentrado de vacas no terço inicial da lactação, mantidas em pasto de capim elefante**. Piracicaba: Piracicaba: Esalq, 2011. 81f. Dissertação de Mestrado. Escola Superior de Agricultura “Luiz de Queiroz”, Esalq, 2011.
 28. DA SILVA, S. C. Manejo do pastejo e a produção animal. In: **Forrageicultura: Ciência, Tecnologia e Gestão de Recursos Forrageiros**. Gráfica Multipress: Jaboticabal, SP, 2013. p.499-523.
 29. DA SILVA, S. C.; NASCIMENTO JÚNIOR, D. **Avanços na pesquisa com plantas forrageiras tropicais em pastagens: características morfofisiológicas e manejo do pastejo**. **Revista Brasileira de Zootecnia**, v.36, supl. especial, p.122-138, 2007.
 30. DARR, M.; EPPERSON, W. Embedded sensor technology for real time determination of animal lying time. **Computers and Electronics in Agriculture**. v. 66, p. 106-111. 2009.
 31. DE PASSILLÉ, A.M.; JENSEN, M.B.; CHAP INAL, N.; RUSHEN, J. Technical note: Use of accelerometers to describe gait patterns in dairy calves. **Journal of Dairy Science**. v. 93, p. 3287-3293. 2010.

32. FONSECA, L.; MEZZALIRA, J.C.; BREMM, C.; FILHO, R.S.A.; GONDA, H.L.; CARVALHO, P.C.F. Management targets for maximising the short-term herbage intake rate of cattle grazing in *Sorghum bicolor*. **Livestock Science**, v.145, p.205–211, 2012a.
33. FONSECA, L.; MEZZALIRA, J.C.; BREMM, C.; FILHO, R.S.A.; GONDA, H.L.; CARVALHO, P.C.F. Grazing by horizon: what would be the limits to maintain maximum short-term herbage intake rate?. **Grassland Science in Europe**, v.17, p.237–239, 2012b.
34. FRASER, A.F. The behaviour of maintenance and the intensive husbandry of cattle, sheep and pigs. **Agriculture, Ecosystems and Environment**. v. 9, p. 1-23. 1983.
35. FREEMAN, C. ; LOUÇÃ, F. (2001.) *'As time goes by: from the industrial revolutions to the information revolution'*. (Oxford University Press: Oxford)
36. GIBB, M. J.; HUCKLE, C. A.; NUTHALL, R. Effect of time of day on grazing behaviour by lactating dairy cows. **Grass and Forage Science**. v. 53, p. 41-46. 1998.
37. GONÇALVES, E.N.; CARVALHO, P.C.F.; DEVINCENZI, T. *et al.* Relações planta-animal em ambiente pastoril heterogêneo: padrões de deslocamento e uso de estações alimentares. **Revista Brasileira de Zootecnia**, v.38, n.11, p.2121-2126, 2009.
38. HODGSON J, CLARK, D.A., MITCHELL, R.J. Foraging behavior in grazing animals and its impact on plant communities. In: FAHEY, G.C. (Ed.). **Forage quality, evaluation and utilization**. Based on the National Conference on Forage Quality, Lincon: American Society of Agronomy. 1994. p.796-827.
39. HODGSON, J; CLARK, D. A.; MITCHELL, R. J. Foraging behavior in grazing animals and its impact on plant communities. In: National Conference on Forage Quality, Evaluation and Utilization, 1994, Nebraska. **Proceedings...** Nebraska: University of Nebraska, 1994, p. 796-827.
40. KELCEY, J; A. LUCIEER. "Sensor Correction of a 6-Band Multispectral Imaging Sensor for UAV Remote Sensing." **Remote Sensing**. v. 4(5), p. 1462-1493. 2012.
41. KIDA, T; TEJIMA, S.; NAGAI, T.; NAGAWA, Y; HORIZAWA, J. The cow body measurement technique using a 3D digital camera. **Japanese Journal of Grassland Science** v. 59 appendix: p. 38. 2013
42. LACA, E. A.; WALLISDEVRIES, M. F. Acoustic measurement of intake and grazing behaviour of cattle. **Grass and Forage Science**. v. 55, p. 97-104. 2000.
43. LACA, E.A.; UNGAR, E.D.; SILEGMAN, N.G. *et al.* Effects of sward height and bulk density on bite dimensions of cattle grazing homogeneous swards. **Grass and Forage Science**, v.47, p.91-102, 1992.
44. LEDGERWOOD, D. N.; WINCKLER, C.; TUCKER, C. B. Evaluation of data loggers, sampling intervals, and editing techniques for measuring the lying behavior of dairy cattle. **Journal of Dairy Science**. v. 93, p. 5129-5139. 2010.
45. LEROY, T, AERTS, J., EEMAN, J., MALTZ, E., STOJANOVSKI, G. AND BERCKMANS, D. Automatic determination of body condition score of cows based on 2D images. **Prec. Liv. Farm**. p. 251-255. 2005
46. MARTINEZ, J.C. **Avaliação de coprodutos na alimentação de vacas leiteiras mantidas em pastagens tropicais durante a estação chuvosa e alimentadas no cocho durante a estação seca do ano**. Piracicaba: Esalq, 2008. 351f. Tese de Doutorado. Escola Superior de Agricultura "Luiz de Queiroz", Esalq, 2008.
47. MARTINICHEN, D. **A estrutura do dossel e o comportamento ingestivo de vacas leiteiras em capim-mombaça**. Curitiba: UFPR, 2006. 71f. Tese de Doutorado. Universidade Federal do Paraná, UFPR, 2006.
48. MARTISKAINEN, P; JARVINEN, M.; SKON, J.P; TIIRIKAINEN, J; KOLEHMAINEN, M. ; MONONEN, J. Cow behaviour pattern recognition using a three-dimensional accelerometer and suport vector machines. **Applied Animal Behaviour Science**. v.119, p. 32-38. 2009.
49. MEDEIROS NETO, C. **Dinâmica de desfolhação em pastos de capim-quicuiu manejados em lotação intermitente**. Lages: UDESC, 2015, 64f. Dissertação (Mestrado em Ciência Animal) – Centro de Ciências Agroveterinárias, Universidade Estadual de Santa Catarina, 2015.
50. MENDES, F. B. L. **Vacas mestiças em pastejo de *Brachiaria brizantha* recebendo diferentes níveis de concentrado na dieta**. 2010. 78 p. Dissertação (Mestrado em Zootecnia) – Universidade Estadual do Sudoeste da Bahia, Itapetinga, 2010.
51. MEZZALIRA, J. C. **Taxa de ingestão potencial em pastejo: um estudo contrastando pastos de clima temperado e tropical**. 2012. 168p. Tese (Doutorado). Faculdade de Agronomia, Universidade Federal do Rio Grande do Sul, 2012.
52. MILONE, D. H.; RUFINER, H. L.; GALLI, J. R.; LACA, E. A.; CANGIANO, C. A. Computational method for segmentation and classification of ingestive sounds in sheep. **Computers and Electronics in Agriculture**. v. 65, p. 228–237. 2009.
53. MOREAU, M.; SIEBERT, S.; BUERKERT, A.; SCHLECHT, E. Use of a tri-axial accelerometer for automated recording and classification of goats' grazing behaviour. **Applied Animal Behaviour Science**, v.119, p.158-170. 2009.
54. MÜLLER, R.; SCHRADER, L. A new method to measure behavioural activity levels in dairy cows. **Applied Animal Behaviour Science**. v. 83, p. 247-258. 2003.
55. NASCIMENTO, G. V.; CARDOSO, E. A.; BATISTA, N. L.; *et al.* Comportamento ingestivo de vacas mestiças (Holandês-zebu) sob regime de pastejo rotacionado em *brachiaria brizantha* cv. Marandu. **Journal Animal**

- Behavior Biometeorology**, v. 1, n. 2, p. 31-36, 2013.
56. O'DRISCOLL, K.; BOYLE, L.; HANLON, A. A brief note on the validation of a system for recording lying behaviour in dairy cows. **Applied Animal Behaviour Science**. v. 111, p. 195-200. 2008.
 57. O'DRISCOLL, K.; O'BRIEN, B.; GLEESON, D.; BOYLE, L. Milking frequency and nutritional level affect grazing behaviour of dairy cows: A case study. **Applied Animal Behaviour Science**. v. 122, p. 77-83. 2010.
 58. OUDSHOORN, F. W.; CORNOU, C.; HELLWING, A. L. F.; LUND, P.; KRISTENSEN, T.; MUNKSGAARD, L. Estimation of grazing time and grass intake on pasture for dairy cows using tightly and loosely mounted di- and tri-axial accelerometers: Innovations in GRAZING – Proceedings 2nd meeting EGF Working Group Grazing. Lublin, Poland 3 June 2012. http://www.Europeangrassland.org/fileadmin/media/pdf/working_groups/644_-_Proceedings.pdf Overton M (1996) 'Agricultural revolution in England: the transformation of the agrarian economy 1500-1850'. (Cambridge University Press: Cambridge) Acessado em 20 de outubro de 2015.
 59. OVERTON, M. (1996,) 'Agricultural revolution in England: the transformation of the agrarian economy 1500-1850'. (Cambridge University Press: Cambridge)
 60. PALHANO, A.L.; CARVALHO, P.C.F.; DITTRICH, J.R.; MORAES, A.; SILVA, S.C.; MONTEIRO, A.L.G.; Características do processo de ingestão de forragem por novilhas holandesas em pastagens de capim-mombaça. **Revista Brasileira de Zootecnia**. v.36, n.4, p.1014-1021, 2007.
 61. PASTELL, M.; TIUSANEN, J.; HAKOJÄRVI, M.; HÄNNINEN, L. A wireless accelerometer system with wavelet analysis for assessing lameness in cattle. **Biosystems Engineering**. V; 104, p. 545-551. 2009.
 62. PHILLIPS, C. 2002. **Cattle behaviour & Welfare. Second edition.** Chapter 10, 12. Blackwell Science Ltd. Cornwall, United Kingdom
 63. PRIMICERIO, J.; DI GENNARO, S. F.; ET AL. "A flexible unmanned aerial vehicle for precision agriculture." **Precision Agriculture**. v. 13(4), p. 517-523. 2012.
 64. QUADROS, F. L. F.; DUTRA, G. M.; CASANOVA, P. T. "Mitos" e "verdades" no manejo das pastagens. In: Simpósio de Produção Animal a Pasto, 3, 2015, Maringá. **Anais...** Maringá: Nova Sthampa, 2015. P.27-53.
 65. ROBERT, B.; WHITE, B.J.; RENTER, D.G.; LARSON, R.L. Evaluation of three-dimensional accelerometers to monitor and classify behavior patterns in cattle. **Computers and Electronics in Agriculture**. v. 67, p. 80-84. 2009.
 66. RUTTER, S. M.; BERESFORD, N. A.; ROBERTS, G. Use of GPS to identify the grazing areas of hill sheep. **Computers and Electronics in Agriculture**. v. 17, p. 177-188. 1997.
 67. RUTTER, S. M.; CHAMPION, R. A.; PENNING, P. D. An automatic system to record foraging behaviour in free-ranging ruminants. **Applied Animal Behaviour Science**. v. 54, p. 185-195. 1997.
 68. SANTOS, F. A. P.; BATISTEL, F.; SOUZA, J.; COSTA, D. F. A. Manejo alimentar de vacas em lactação em pasto. In: XII Congresso Internacional do Leite: Alternativas para produção sustentável na Amazônia. Brasília: EMBRAPA, 2013. **Anais...** Brasília, 2013, p. 277-291.
 69. SANTOS, F. A. P.; MARTINEZ, J. C.; GRECO, L. F.; et al. Nutrição das vacas em lactação, no período chuvoso, para produção intensiva de leite em pasto. In: Simpósio de Nutrição e Produção de Gado de Leite, 3, 2007, Belo Horizonte, **Anais...** Belo Horizonte: UFMG, 2007. p. 1-27.
 70. SARMENTO, D.O.L. **Comportamento ingestivo de bovinos em pastos de capim-marandu submetidos a regimes de lotação contínua.** Piracicaba: Esalq, 2003. 76f. Dissertação de Mestrado. Escola Superior de Agricultura "Luiz de Queiroz", Esalq, 2003.
 71. SBRISSIA, A. F.; MEDEIROS NETO, C. Recents advances in pasture management in Brazil. In: International Conference on Forage in Warm Climates, 1, 2015, Lavras. **Anais...** Lavras: Suprema Gráfica e Editora Ltda, 2015. P.45-62.
 72. SBRISSIA, A. F.; SCHMITT, D.; DUCHINI, P. G.; et al. Produção de leite em pasto: flexibilidades e estratégias do manejo do pastejo. In: Simpósio Brasileiro de Ruminantes Leiteiros, 1, 2014, Uberlândia. **Anais...** Uberlândia: Editora UFU, 2014. P.107-129.
 73. SBRISSIA, A.F.; SCHMITT, D.; DIAS, K. M.; et al. Manejo intensivo de pastagens para gado de leite. In: Simpósio Mineiro e Simpósio Nacional sobre Nutrição de Gado de Leite, 6, 2012, Belo Horizonte, **Anais...**, Belo Horizonte: FEPMVZ, 2012, p. 1-24.
 74. SCHELLBERG, J. ; HILL, M. J. ; GERHARDS, R. ; ROTHMUND, M. ; BRAUN, M. (2008) Precision agriculture on grassland: applications, perspectives and constraints. **European Journal of Agronomy**. v. 29, p. 59-71. 2008.
 75. SOUZA, J. **Fontes de gordura alteram o desempenho ou metabolismo de vacas mantidas em pastagens tropicais.** 2014. 164p. Dissertação (Mestrado em Ciência Animal e Pastagens). Escola Superior de Agricultura "Luiz de Queiroz", Esalq, 2014.
 76. TOMIZAWA, M. Field application of indicators of grazing effect. **Grassland Research Institute**. v. 42, p. 98-101. 1989.
 77. TROTTER, M. Establishing and testing a Taggle® real-time autonomous spatial livestock monitoring system: PROCEEDINGS OF THE AUSTRALIAN AND NEW ZEALAND SPATIALLY ENABLED LIVESTOCK MANAGEMENT SYMPOSIUM, Lincoln, New Zealand, 6 July 2012. [www.agresearch.co.nz/our-science/land-environment/soils-land-use/docs/SELM%20Abstracts%202012%20\(4MB\).pdf](http://www.agresearch.co.nz/our-science/land-environment/soils-land-use/docs/SELM%20Abstracts%202012%20(4MB).pdf) Umstatter C (2011)

- The evolution of electric fences: a review. *Computers and Electronics in Agriculture* 75, 10-22. Acessado em 20 de outubro de 2015.
78. UMEMURA, K.; WANAKA, T.; UENO, T. Technical note: Estimation of feed intake while grazing using a wireless system requiring no halter. *Journal of Dairy Science*. v. 92, p. 996-1000. 2009.
 79. UMSTATTER, C.; MORGAN-DAVIES, J.; HASKELL, M. Study of cattle responses to an 'invisible fence' approach: PROCEEDINGS OF THE AUSTRALIAN AND NEW ZEALAND SPATIALLY ENABLED LIVESTOCK MANAGEMENT SYMPOSIUM, Lincoln, New Zealand, 6 July 2012. [www.agresearch.co.nz/our-science/land-environment/soils-land-use/docs/SELM%20Abstracts%202012%20\(4MB\).pdf](http://www.agresearch.co.nz/our-science/land-environment/soils-land-use/docs/SELM%20Abstracts%202012%20(4MB).pdf). UMSTATTER, C.; TAILLEUR, C.; ROSS, D.; HASKELL, M. J. Could virtual fences work without giving cows electric shocks? In 'Precision Livestock Farming '09'. (Eds C Lockhorst, PWG Groot Koerkamp). pp 161-168. (Wageningen Academic Press: Wageningen) Acessado em 20 de outubro de 2015.
 80. UNGAR, E. D.; RUTTER, S. M. Classifying cattle jaw movements: Comparing IGER Behaviour Recorder and acoustic techniques. *Applied Animal Behaviour Science*. v. 98, p. 11-27. 2006.
 81. UNGAR, E.D. Changes in bite area and bite depth during patch depletion by cattle. In: European Intake Workshop on Techniques for Investigation Intake and Ingestive Behaviour by Farm Animals, 10, 1998, North Wyke, **Proceedings...** North Wyke. 1998, p. 81-82.
 82. WHELAN, B. M. ; MCBRATNEY, A. B. (2000) The null hypothesis of precision agriculture management. *Precision Agriculture*. v. 2, p. 265-279. 2000.
 83. ZANINE, A. M.; SANTOS, E. M.; PARENTE, H. N.; *et al.* Comportamento da ingestão em bovinos (ruminantes) em pastagem de capim *Brachiaria decumbens* na região centro-oeste do Brasil. *Archives of Veterinary Science*, v. 11, n. 2, p. 17-24, 2006.
 84. ZANINE, A. M.; SANTOS, E. M.; PARENTE, H. N.; *et al.* Hábito de pastejo de vacas lactantes Holandês x Zebu em pastagens de *Brachiaria brizantha* e *Brachiaria decumbens*. *Arquivo Brasileiro de Medicina Veterinária*, v. 59, n. 1, p. 175-181, 2007.
 85. ZANINE, A. M.; VIEIRA, B. R.; FERREIRA, D. J.; *et al.* Comportamento ingestivo de vacas Girolandas em pastejo de *Brachiaria brizantha* e Coast-cross. *Revista Brasileira de Saúde e Produção Animal*, v. 10, n. 1, p. 85-95, 2009.
 86. ZANINI, G.D.; SANTOS, G.T; SCHMITT, D.; *et al.* Distribuição de colmo na estrutura vertical de pastos de capim Aruana e azevém anual submetidos a pastejo intermitente por ovinos. *Ciência Rural*. v.42, n.5, p.882-887, 2012.
 87. ZHANG, C.; J. M. KOVACS. "The application of small unmanned aerial systems for precision agriculture: a review." *Precision Agriculture*. v. 13(6), p. 693-712. 2012.



A pecuária leiteira de precisão sob a ótica econômica

Fernanda Carolina Ferreira¹ -

Kenya Beatriz Siqueira²

Luiz Gustavo Ribeiro Pereira³ - CRMV-MG 5930

¹ Doutoranda Universidade da Florida EUA - Embrapa Gado de leite, Juiz de Fora, Minas Gerais

² DSC Economia Aplicada - Embrapa

³ Médico Veterinário e doutorado em Ciência Animal (UFMG); Pesquisador da Embrapa Semi-Árido, Petrolina, PE

bigstockphoto.com

Introdução

Em 2014, 118 milhões de produtores ofertaram cerca de 819 milhões de toneladas de leite. No entanto, estima-se que em 2025 a demanda de leite será de 1.059 milhões de toneladas, o que representa um aumento 3 vezes maior que a produção dos Estados Unidos (IFCN, 2015). Para atender a essa demanda, será necessário um gerenciamento mais eficiente da produção leiteira, a qual convive regularmente com margens de lucro cada vez mais estreitas, exigindo que os produtores alcancem a ótima eficiência, tanto em termos de máxima produtividade quanto em

termos do mínimo custo de produção. Além disso, o ambiente em que o gestor de sistemas de produção de leite toma decisões tem se tornado cada vez mais complexo, e aspectos como segurança de alimentos, proteção ao consumidor, contínuo aumento na qualidade e na diversidade dos produtos, demanda por produtos naturais, controle de doenças transmissíveis, redução do uso de medicamentos e bem-estar animal são fatores que devem ser levados em consideração (Bewley *et al.*, 2015). Nesse cenário, a pecuária leiteira de precisão pode contribuir para melhorias na gestão da propriedade.

Na era da informação, a pecuária de pre-

cisão pode representar avanço em termos de gerenciamento mais eficiente da produção. As tecnologias têm modificado os sistemas de produção de leite e geralmente são variações das já utilizadas em indústrias como a automobilística ou eletrônica. Visam à melhoria do monitoramento detalhado de animais e recursos físicos com o objetivo de otimizar o desempenho econômico, social e ambiental de sistemas de produção de leite (Eastwood *et al.*, 2012). Teoricamente as novas tecnologias empregadas na pecuária de precisão oferecem benefícios na saúde e bem-estar dos animais, aumentam a produtividade das fazendas, reduzem custos dos sistemas de produção, além de facilitarem a vida do produtor. No entanto, alguns desses benefícios são questionáveis. Talvez por isso, ainda é incipiente o número de produtores que adotam a pecuária de precisão, especialmente no Brasil.

Como a pecuária de precisão ainda é um campo científico relativamente novo se comparado a outras ciências, e as tecnologias estão evoluindo a um ritmo cada vez mais rápido, a área ainda carece de estudos mais aprofundados. Além disso, pecuária de precisão é um campo interdisciplinar que engloba conceitos de informática, bioestatística, etologia, economia, genética, instalações, equipamentos, nutrição animal e engenharia (Spilke e Fahr, 2003). Assim, ainda são raros os estudos de viabilidade dos investimentos em pecuária leiteira de precisão devido principalmente ao alto custo de se manter experimentos controlados no longo prazo. Embora o aspecto tecnológico desses equipamentos possa definir a inovação, fatores econômicos e sociais ditam o sucesso na adoção dessas tecnologias (Bewley, 2015).

As tecnologias têm modificado os sistemas de produção de leite e geralmente são variações das já utilizadas em indústrias como a automobilística ou eletrônica.

Neste capítulo, pretende-se apresentar o estado da arte de estudos econômicos relacionados à pecuária leiteira de precisão, de forma a avaliar o retorno econômico da adoção, bem como os fatores que determinam essa decisão.

Adoção de pecuária leiteira de precisão

Os benefícios advindos do uso de tecnologias voltadas à pecuária leiteira de precisão incluem aumento da eficiência dos sistemas, redução de custos, melhoria do produto final, minimização dos impactos ambientais negativos e melhoria na saúde e bem-estar animal. Tais tecnologias apresentam um maior impacto nas áreas de saúde, reprodução e qualidade do leite (De Mol, 2000) e o objetivo de sua utilização é melhorar a eficiência de fazendas produtoras de leite (El-Osta e Morehart, 2000).

A aquisição e implementação de determinada tecnologia representa um significativo investimento para o produtor, que tem o desafio de escolher a que trará os melhores resultados ao longo do tempo. Os efeitos de se investir em uma tecnologia que não trará o retorno desejado pode ser prejudicial ao sistema de produção de leite e, por isso, a decisão deve ser tomada com cautela (Russel e Bewley, 2013).

Apesar da ampla disponibilidade, a adoção de tecnologias voltadas à pecuária leiteira de precisão ainda é baixa (Huirne *et al.*, 1997; Gelb *et al.*, 2001). A maior parte dos avanços em pecuária de precisão pode ser encontrada na Europa. Destacam-se os países escandinavos, o Reino Unido, a Holanda, além da Austrália e da Nova Zelândia.

Holloway *et al.* (2014) citaram entrevis-

ta realizada com 2.600 produtores de leite da União Europeia. Os resultados indicaram que 40% dos novos investimentos desses produtores foram em sistemas de ordenha robotizada, o que sugere que a proporção de vacas que serão ordenhadas por robôs deve aumentar de 9% em 2014 para 18% em 2016. Nos Estados Unidos, um estudo com 109 produtores de leite, realizado em 2013, identificou que 68,8% empregavam alguma tecnologia na sua fazenda (Borchers e Bewley, 2014).

No projeto *Bright Animal* foi realizado levantamento das tecnologias de pecuária de precisão comercializáveis em vários países, entre eles: Estônia, Dinamarca, Noruega, Reino Unido, Austrália, Malásia, Vietnã e África do Sul. De um modo geral, o estudo mostrou que poucos produtores utilizam essas tecnologias, sendo que, nos países mais desenvolvidos, o número de adeptos da pecuária de precisão é maior, especialmente em tecnologias poupadoras de tempo e mão de obra (Banhazi *et al.*, 2012).

Austrália e Nova Zelândia também têm se destacado. Na primeira estimativa (2007), 10% dos produtores de leite utilizavam algum tipo de tecnologia de precisão para a alimentação do rebanho (Lubulwa e Shafron, 2007). Em 2009, em um estudo realizado com 300 produtores de leite australianos, observou-se que 19% já usavam identificação eletrônica, 25% utilizavam dispositivos para monitoramento de atividade animal e 91% empregavam sistemas de alimentação assistidos por computador (Watson, 2009). Na Nova Zelândia, em pesquisa realizada em 2008, constatou-se que 20%

dos produtores entrevistados usavam algum tipo de automação na fazenda, 5% utilizavam identificação eletrônica do gado e 2% empregavam medidores eletrônicos de leite (LIC, 2008).

Nos Estados Unidos, Borchers e Bewley (2015) reportaram que 68,8% dos respondentes utilizavam tecnologias de precisão em levantamento realizado com 109 produtores.

Os benefícios da adoção de tecnologias de precisão tendem a ser melhores para rebanhos maiores, já que a observação individual

é um desafio e tem menor chance de ocorrer (Lazarus *et al.*, 1990). Como os sistemas de produção de leite continuam crescendo, tecnologias voltadas à pecuária de precisão tendem a se tornar mais viáveis, uma vez que a redução na disponibilidade de mão de obra qualificada é uma realidade e a propriedade pode se beneficiar das vantagens da produção de leite em escala. Dados coletados em tempo real podem ser usados para monitoramento de animais e geração de relatórios com o objetivo de identificar desvios significativos na normalidade. Em muitos casos, a gestão de propriedades e atividades de controle podem ser automatizadas (Delorenzo e Thomas, 1996). Entretanto, resultados do sistema geram dados que exigem interpretação por parte do gestor (Pietersma *et al.*, 1998), ou seja,

tais informações são úteis apenas se interpretadas corretamente e utilizadas na rotina do dia a dia.

As tecnologias voltadas à pecuária de precisão permitem aos produtores a tomada de decisão rápida e baseada em melhores in-

Nos Estados Unidos, um estudo com 109 produtores de leite, realizado em 2013, identificou que 68,8% empregavam alguma tecnologia na sua fazenda.

As tecnologias voltadas à pecuária de precisão permitem aos produtores a tomada de decisão rápida e baseada em melhores informações, o que resulta em maior produtividade e lucratividade

formações, o que resulta em maior produtividade e lucratividade (van Asseldonk *et al.*, 1999). Além disso, devido ao volume massivo de informações geradas, sistemas computadorizados são essenciais para a interpretação do grande volume de dados gerado.

Os produtores de leite contam com uma ampla gama de tecnologias disponíveis no mercado, e muitos produtores nem sequer têm ideia dessa disponibilidade (Russel e Bewley, 2013). Entretanto, embora estejam disponíveis sistemas que monitoram atividade animal, ruminção, tempo de descanso das vacas, temperatura e muitos outros eventos associados com comportamento e bem-estar animal (Nebel, 2013), pouco se sabe a respeito da perspectiva do produtor em relação a adoção, entendimento sobre cada tecnologia individualmente ou opinião sobre a importância e a utilidade de se monitorar os parâmetros medidos por tais tecnologias (Borchers e Bewley, 2015). O retorno sobre o investimento percebido pelo produtor em uma nova tecnologia é sempre um fator que influencia a sua adoção ou não (Dijkhuizen *et al.*, 1997; van Asseldonk, 1999).

Fatores que influenciam na adoção da pecuária de precisão

A escolha entre o sistema convencional e a pecuária de precisão envolve muitos fatores. A adoção de robôs e sistemas automatizados está muito relacionada com ganhos de produtividade, principalmente por serem tecnologias intensivas em capital e poupadoras de mão de obra. Do ponto de vista social, essas tecnologias são condenáveis, visto

que eliminam postos de trabalho. No entanto, considerando-se o aumento do tamanho das fazendas leiteiras no Brasil e no mundo, associado à escassez de mão de obra no campo e o elevado custo desta, a adoção da pecuária de precisão pode significar redução de custos no longo prazo.

Entretanto, assim como ocorre com toda tecnologia intensiva em capital, o maior limitador para a adoção é o elevado investimento inicial, pois a visão de curto prazo e falta de capital inicial impedem o avanço do produtor. Em estudo de 10 anos (2000-2010) realizado na Finlândia, foram identificados poucos fatores econômicos como determinantes para a mudança de um sistema convencional para um automatizado. O capital empregado em maquinários e os subsídios a investimentos estão entre as variáveis mais relevantes (Banhazi *et al.*, 2012).

As características dos produtores são também fatores importantes na decisão de adotar ou não a pecuária de precisão. Fatores como baixa familiaridade com computadores, idade e grau de escolaridade podem influenciar nessa decisão (Bewley, 2010).

No entanto, a identificação dos benefícios da tecnologia e a transparência na divulgação dessa informação parecem ser os fatores mais importantes para o sucesso da pecuária de precisão. Isso deriva principalmente da cultura dos produtores, já que estes são biólogos por natureza e tecnólogos e economistas

ocasionalmente. Assim, de um modo geral, os produtores são conservadores, em especial por causa das reduzidas margens de lucro com as quais frequentemente trabalham.

Banhazi *et al.* (2012) identificaram a oferta de treinamento e suporte téc-

Banhazi et al. (2012) identificaram a oferta de treinamento e suporte técnico adequado e a correta especificação, instalação e monitoramento do sistema como fatores importantes para o sucesso na adoção da pecuária leiteira de precisão.

nico adequado e a correta especificação, instalação e monitoramento do sistema como fatores importantes para o sucesso na adoção da pecuária leiteira de precisão.

Aspectos relacionados a estudos de viabilidade econômica da pecuária leiteira de precisão

Tradicionalmente, as decisões de investimento em determinada tecnologia são feitas baseadas em recomendações padrão, consultoria ou mesmo seguindo-se a intuição do produtor. Assim, métodos de análise de retorno sobre o investimento mais específicos são necessários. Muitos estudos econômicos em pecuária de precisão utilizam-se de questionários para avaliar o ponto de vista do produtor. Nesses estudos procura-se identificar os principais desafios e dificuldades na adoção da pecuária de precisão, através de visitas às fazendas e entrevistas com os proprietários, que podem ser estruturadas ou não. Em alguns casos, os empregados da fazenda também são entrevistados. Nesse tipo de estudo, as entrevistas podem ocorrer antes, durante e/ou depois da adoção da tecnologia, dependendo dos objetivos da pesquisa. Os resultados dos questionários são analisados por estatísticas descritivas e geralmente são estudos de caso.

Outra categoria de estudos econômicos em pecuária de precisão procura avaliar a viabilidade de investimentos. Nessa categoria, destacam-se as análises de viabilidade econômico-financeira que permitem estimar o desempenho financeiro das fazendas e tecnologias adotadas, evidenciando as que são economicamente viáveis ou não. Dessa forma, envolvem levantamento de todos os custos e variáveis relacionados à inversão do capital no

sistema de pecuária leiteira de precisão. Para isso, são empregados procedimentos convencionais de engenharia econômica por meio dos seguintes indicadores:

VPL (Valor Presente Líquido): indicador de viabilidade de investimentos que determina o valor presente de pagamentos futuros.

TIR (Taxa Interna de Retorno): taxa econômica necessária para igualar o valor de um investimento com seus retornos futuros, ou seja, a taxa de remuneração do projeto ou tecnologia que iguala o seu investimento.

Período de *Payback*: indicador que determina o número de períodos (meses ou anos) necessários para se recuperar o capital investido.

Apesar de ser uma análise básica, a análise de viabilidade de um investimento é muito empregada e útil. Para complementar, geralmente são realizadas análises de sensibilidade e/ou análises de risco. A primeira consiste em variar certos itens componentes do custo e/ou receita, mantendo os demais constantes. Com isso, avalia-se a mudança nos indicadores de rentabilidade do empreendimento. Já a análise de risco trabalha com probabilidades e permite identificar os riscos do empreendimento. Assim, é possível comparar, em termos econômicos, as fazendas e tecnologias, assim como avaliar os riscos.

A análise de Custo Benefício é outra opção que não necessariamente precisa ser calculada em termos monetários. É uma análise das vantagens e desvantagens da adoção da tecnologia e pode apresentar algum grau de subjetividade.

No entanto, independentemente da metodologia adotada, os objetivos dos estudos econômicos em pecuária leiteira de precisão são entender os fatores que influenciam e são influenciados pela adoção da tecnologia, bem como entender melhor os retornos desse investimento.

De acordo com Mayer *et al.* (1998), as melhores estratégias de gestão e manejo de propriedades leiteiras são difíceis de serem testadas através de experimentos de campo, uma vez que são muito variáveis e complexas, e mudam rapidamente. Assim, as simulações são a melhor forma de integrar e estimar esses efeitos. Os modelos de simulação são úteis e relativamente baratos para uso em pesquisas que envolvem cenários complexos e um grande número de variáveis com um grande grupo de animais durante um longo período de tempo e sob diferentes condições (Shalloo *et al.*, 2004). Tais modelos econômicos são também efetivos quando utilizados para a avaliação de alternativas quando existem poucos dados reais disponíveis.

Modelos de simulação são ideais para a análise de estratégias de investimento porque eles podem efetivamente simular e avaliar a melhoria em parâmetros biológicos baseados em dados provenientes de fazendas específicas. Risco e incerteza são os dois maiores aspectos a serem considerados dentro de um sistema de produção de leite devido à natureza aleatória dessa atividade. Em um modelo de simulação, é possível considerar a natureza biológica de alguns eventos dentro da propriedade, simular doenças, condições climáticas, custos de produção e de insumos, e preço do leite (Delorenzo e Thomas, 1996). A incerteza deve ser considerada em um processo de tomada de decisão para se evitar estimativas com viés e decisões errôneas (Kristensen e Jorgensen, 1998). Custos e retornos futuros são sempre incertos. Em relação à pecuária de precisão, uma representação acurada do risco associada com a adoção de tecnologias é crítica

no processo de tomada de decisão.

Muitos trabalhos têm sido publicados utilizando-se da metodologia de simulação Monte Carlo. Por esse método, variáveis que são aleatórias em um sistema de produção de leite são simuladas levando-se em consideração a natureza de sua variação. A metodologia permite que se desenvolva um modelo amplo de avaliação de impactos técnicos e econômicos de acordo com a realidade utilizada e permite também que análises de sensibilidade sejam desenvolvidas. O impacto econômico de tecnologias é avaliado, usualmente por meio de modelos econômicos (Upton *et al.*, 2015). Entretanto, uma boa base de dados é necessária para a construção desses modelos.

Upton *et al.* (2014) desenvolveram um modelo que simulou o consumo anual de eletricidade e custos associados com seis cenários diferentes em relação à adoção e uso de tecnologias e três diferentes sistemas de produção na Irlanda. Tal modelo foi utilizado por Upton *et al.* (2015) com o objetivo de avaliar o retorno sobre o investimento de três tecnologias comumente utilizadas por produtores de leite, e que são também as principais responsáveis pelo consumo de energia elétrica na fazenda. Além disso, os autores simularam dois cenários de preços de energia elétrica. Os três sistemas de produção de leite estudados tinham concentração de partos na primavera, foram considerados como sendo pequenos (45 vacas em lactação), médios (88) e grandes (195), e todas produziam leite a pasto. As informações levantadas contemplaram detalhes relacionados ao manejo de gestão das fazendas (estação de nascimento de bezerras,

Os modelos de simulação são úteis e relativamente baratos para uso em pesquisas que envolvem cenários complexos e um grande número de variáveis com um grande grupo de animais durante um longo período de tempo e sob diferentes condições.

frequência de ordenha, horários de início e final das ordenhas. Os autores concluíram que os resultados das avaliações de retorno sobre o investimento são dependentes da tarifa considerada, e que produtores devem levar em consideração o valor do retorno sobre o investimento da tecnologia antes de optar por investirem na mesma.

Bewley *et al.* (2010) desenvolveram um modelo com o objetivo de avaliar o custo benefício de tecnologias voltadas à pecuária leiteira de precisão, considerando a complexidade biológica e econômica de uma fazenda de leite. Os autores utilizaram dados históricos de preços de leite, custos de produção de novilhas, alimentos, preço de vacas de descarte e consideraram a volatilidade nos preços chave na análise de rentabilidade do investimento em tecnologias de precisão para pecuária leiteira. Ao avaliarem os fatores que influenciam a rentabilidade potencial de um sistema automático para avaliação de escore de condição corporal, os autores consideraram benefícios como redução na incidência de cetose, febre do leite e metrite, melhoria na taxa de concepção ao primeiro serviço e eficiência do uso de energia nutricional como os principais benefícios de tal tecnologia.

A métrica utilizada pelos autores para avaliar a rentabilidade sobre o investimento foi o VPL, com uma taxa de desconto de 10% devido ao elevado risco de se adotar uma tecnologia relativamente nova. A regra geral é que uma tecnologia com um VPL maior do que 0 compensa o investimento. Os resultados foram extremamente variáveis: 13,1% dos resultados da simulação indicaram um VPL positivo em um cenário onde a adoção da tecnologia acarretaria pequenas melhorias no sistema de pro-

Melhorias na performance reprodutiva [no caso de adoção do sistema de medição de condição corporal automatizado] tiveram os maiores impactos no retorno sobre o investimento, seguidas por eficiência no manejo nutricional... e redução na incidência de doenças.

dução de leite, ao passo que em 87,8% o VPL foi maior que 0 quando as melhorias foram mais significativas.

Nesse mesmo estudo, Bewley *et al.* (2010) fizeram a análise de sensibilidade com o objetivo de estudar quais fatores que mais influenciaram a lucratividade no caso de adoção do sistema de medição de condição corporal automatizado.

Melhorias na performance reprodutiva tiveram os maiores impactos no retorno sobre o investimento, seguidas por eficiência no manejo nutricional com otimização da formulação de dietas para grupos específicos e redução na incidência de doenças. As variáveis que mais influenciaram o VPL foram: aumento no custo variável após a adoção da tecnologia; probabilidade para cetose e febre do leite e a taxa de concepção ao primeiro serviço associada com diferentes escores de condição corporal.

Estudos de casos também têm sido realizados com o objetivo de avaliar a viabilidade de determinadas tecnologias adotadas na pecuária leiteira. Yule *et al.* (2013) realizaram um estudo de caso na Nova Zelândia e verificaram que a produção de leite aumentou 70%, a produção de pastagem cresceu 43% e os gastos com fertilizantes foram reduzidos em 43%, em quatro anos, com a adição de tecnologias de precisão.

Na Austrália, um estudo com sistemas de irrigação automático em fazendas leiteiras mostrou que esse é um investimento lucrativo e poupador de mão de obra. Porém, a lucratividade mostrou-se sensível à quantidade e valor do trabalho poupado (Armstrong *et al.*, 2011).

Para avaliar sistemas de tomada de decisão na pecuária leiteira de precisão, Eastwood

et al. (2012) estudaram seis fazendas australianas. Um estudo de caso exploratório qualitativo foi aplicado, com o emprego de entrevistas aos fazendeiros antes da instalação dos sistemas e até dois anos após a implementação. Os produtores entrevistados apresentaram uma trajetória semelhante de aprendizado e uso da tecnologia. Nos primeiros três a seis meses, todos estavam na fase de aprendizado inicial.

De seis a doze meses, os produtores passaram para uma fase de consolidação do conhecimento. E, só após doze meses, os produtores apresentaram domínio do novo sistema. Isso indica que o retorno do investimento na pecuária pode demorar mais a acontecer, visto que é necessário se considerar esse período de adaptação e aprendizado da nova tecnologia.

Um estudo interessante realizado nas fazendas leiteiras do Casaquistão comparou os resultados da viabilidade da pecuária de precisão usando a metodologia clássica do VPL com a avaliação do Retorno sobre o Ativo (ROA), que é um indicador contábil de rentabilidade. Os autores encontraram que o investimento calculado pelo ROA foi consideravelmente maior do que aquele obtido através do VPL. Isso indica que os produtores que se orientarem por esse indicador contábil podem ser desestimulados a adotar a pecuária de precisão (Tubetov et al., 2012).

Considerações Finais

Por ainda ser uma novidade para o setor leiteiro, a pecuária de precisão ainda é olhada com desconfiança por muitos. Apesar de muitas publicações destacarem os benefícios téc-

*...métodos de simulação
... em diferentes cenários,
podem ser utilizados com
o objetivo de auxiliar
produtores, técnicos e
mesmo a iniciativa privada
no desenvolvimento, adoção,
formulação de políticas
públicas e disponibilização
de linhas de crédito para
que tecnologias voltadas à
pecuária de precisão sejam
adotadas de maneira eficaz.*

nicos da utilização de tecnologias voltadas à pecuária de precisão, poucas avaliam o seu impacto econômico e sua viabilidade de acordo com diferentes sistemas de produção de leite. Carentes de informação confiável, muitos produtores ainda relutam na adoção dessas tecnologias na fazenda.

Sugerem-se aplicações de modelos (ex.: *logit e probit*) nos estudos com questionários ou modelos do tipo

tomada de decisão mais complexos, baseados em multicritérios. Além disso, métodos de simulação de fazendas e análise de sensibilidade em diferentes cenários, podem ser utilizados com o objetivo de auxiliar produtores, técnicos e mesmo a iniciativa privada no desenvolvimento, adoção, formulação de políticas públicas e disponibilização de linhas de crédito para que tecnologias voltadas à pecuária de precisão sejam adotadas de maneira eficaz.

Referências

1. ARMSTRONG, D.P.; HO, C.K.M. Economic analysis of automatic flood irrigation for dairy farms in northern Victoria. **AFBM Journal**, v. 8, n.1, 2011.
2. BACH, A.; VALLS, N.; SOLANS, A.; TORRENT, T. Associations between nondietary factors and dairy herd performance. **J. Dairy Sci.** V. 91, 2008.
3. BANHAZI, T.M.; LEHR, H.; BLACK, J.L.; CRABTREE, H.; SCHOFIELD, P.; TSCHARKE, M.; BERCKMANS, D. Precision livestock farming: an international review of scientific and commercial aspects. **Int J Agr & Biol Eng.** V. 5, n.3, 2012.
4. BEWLEY, J. Precision dairy farming: advanced analysis solutions for future profitability. **First North American Conference on Precision Dairy Management**, Toronto, Canadá. 2010.
5. BEWLEY, J. M.; BOEHLJE, M. D. ; GRAY, A. W.; HOGVEEN, H.; KENYON, S. J.; EICHER, S. D.; RUSSELL, M. A.; SCHUTZ, M. M. Stochastic simulation using @Risk for dairy business investment decisions. **Agric. Fin. Rev.** V. 70, 2010.

6. BEWLEY, J. M.; RUSSELL, R. A.; DOLECHECK, K. A.; BORCHERS, M. R.; STONE, A. E.; WADSWORTH, B. A.; MAYO, L. M.; I-CHING TSAI. **Western Dairy Management Conference**. Reno, Nevada, 2015.
7. BORCHERS, M. R.; BEWLEY, J. M. An assessment of producer precision dairy farming technology use, prepurchase considerations, and usefulness. 2015. **J. Dairy Sci.** 98: 4198-4205.
8. DABERKOW, S. G.; MCBRIDE, E. W. D. Socioeconomic profiles of early adopters of precision agriculture technologies. **J. Agrib.** 16: 151-168. 2003.
9. DELORENZO, M. A.; THOMAS, C. V. Dairy records and models for economic and financial planning. **J. Dairy Sci.** 79 (2): 337-345, 1996.
10. DE MOL, R. M. 2000. Automated detection of oestrus and mastitis in dairy cows. **PhD Thesis**. Wageningen University, The Netherlands.
11. DIJKHUIZEN, A. A.; HUIRNE, R. B. M.; HARSH, S. B.; GARDNER, R. W. Economics of robotic application. **Comput. Electron. Agric.** 17 (1) 111-121. 1997.
12. EASTWOOD, C. R.; CHAPMAN, D. F.; PAINE, M. S. Network of practice for co-construction of agricultural decision support systems: case studies of precision dairy farms in Australia. **Agricultural Systems**, 108, 10-18, 2012.
13. EL-OSTA, H. S.; MOREHART, M. J. Technology adoption and its impact on production performance of dairy operations. **Rev. Ag. Econ.** 22:477-498. 2000.
14. GALLIGAN, D. T.; GROENEDAL, H. Economic concepts in the evaluation of "products" used in dairy production including a real option's approach. Pages 233-245 in **36th Annual Pacific Northwest Animal Nutrition Conference**, Boise, Idaho. 2001.
15. GELB, E.; PARKER, C.; WAGNER, P.; ROSSKOPF, K. Why is the ICT adoption rate by farmers still so slow? Pages 40-48 in **Proc. ICAST**, Vol. VI, 2011, Beijing, China. 2001.
16. HUIRNE, R. B. M.; SAATKAMP, H. W.; BERGEVOET, R. H. M. Economic analysis of farm-level health problems in dairy cattle. **Cattle Practice**, 11 (4): 227-236. 2003.
17. LAZARUS, W. F.; STREETER, D.; JOFRE-GIRAUDO, E. Management information systems: impact on dairy farm profitability. **North Cent. J. Agric. Econ.** 12(2): 267-277. 1990.
18. HEMME, T. Current status of milk production worldwide and expected development to 2025. **IDF Conference 2015**. Vilnius, Lithuania, 2015.
19. KRISTENSEN A. R.; JORGENSE, E. Decision support models. Pages 145-165 in **Proc. 25th International Dairy Congress**, Aarhus, Denmark.
20. LIC - **Livestock Improvement Corporation. Dairy milking practices and technology use survey**. Dairy NZ, 2008.
21. LUBULWA, M. SHAFRON, W. Australian dairy industry: technology and farm management practices, 2004-05. **ABARE Research Report 07.9**. Dairy Australia. Canberra, Australia, 2007.
22. NEBEL, R. Attaining reproductive solutions through activity and health monitoring. Pág. 75-80 em **Proc. 2013 Prec. Dairy Conference Expo**, Rochester, MN. University of Minnesota, MN. 2013.
23. PIERCE, F. J.; NOWAK, P. Aspects of precision agriculture. **Adv. Agron.** 67: 1-85. 1999.
24. PIETERSMA D.; LACROIX, R.; WADE, K. M. A framework for the development of computerized management and control systems for use in dairy farming. **J. Dairy Sci.** 81 (11): 2962-2972. 1998.
25. RUSSELL, R. A.; BEWLEY, J. M. Characterization of Kentucky dairy producer decision-making behavior. **J. Dairy Sci.** 96:4751-4758. 2013.
26. SHALOO, L.; DILLON, P.; RATH, M.; WALLACE, M. Description and validation of the Moorepark Dairy System Model. **J. Dairy Sci.** 87 (6) 1945-1959. 2004.
27. SPILKE, J. T.; FAHR, R. Decision support under the conditions of automatic milking systems using mixed linear models as part of a precision dairy farming concept. Pages 780-785 in **Proc. EFITA 2003 Conference**, Debrecen, Hungria. 2003.
28. TUBETOV, D.; MUSSHOLF, O.; KELLNER, U. Investments in Kazakhstani Dairy Farming: a comparison of classical investment theory and the real options approach. **Quart. J. Int. Agr.** 51, no. 3: 257-284, 2012.
29. UPTON, J.; MURPHY, M.; SHALOO, L.; GROOT KOERKAMP, P. W. G.; DE BOER, I. J. M. A mechanistic model for electricity consumption on dairy farms: Definition, Validation and Demonstration. **J. Dairy Sci.**, 97: 4973:4984. 2014.
30. UPTON, J.; MURPHY, M.; DE BOER, I. J. M. Investment appraisal of technology innovations on dairy farm electricity consumption. **J. Dairy Sci.**, 98: 898-909. 2015.
31. VAN ASSELDONK, M. A. P. M.; JALVINGH, A. W.; HUIRNE, R. B. M.; DIJKHUIZEN, A. A.; BEULENS, A. J. M. Dynamic programming to determine optimum investments in information technology on dairy farms. **Agric. Syst.** V. 62 (1): 17-28. 1999.
32. VERSTEGEN, J. A. A. M.; HUIRNE, R. B. M.; DIJKHUIZEN, A. A.; KLEINJNEN, J. P. C. Economic value of management information systems in agriculture: a review of evaluation approaches. **Computers and Electronics in Agriculture**, V. 13, p. 273-88. 1995.
33. WARD, J. M. A portfolio approach to evaluating information system investments and setting priorities. **J. Inf. Technol.** V5: 222-231. 1990.
34. WATSON, P. Cowtime tracking survey 2009. Primary Industry Victoria. Disponível em: <http://www.cowtime.com.au/edit/Reports/COWTIME_TRACKING_SURVEY_2009_REPORT_FINAL.PDF>. Acesso em: 30 set. 2015.
35. YULE, I.; LAWRENCE, H.; MACKENZIE, C.; HEDLEY, C.; GRAFTON, M.; PULLANAGARI, R. Case studies which demonstrate the financial viability of precision dairy farming. **Proceed of the 22nd Intern. Grassland Congress**, 2013.