

UNIVERSIDADE DE LISBOA

FACULDADE DE MEDICINA VETERINÁRIA

U LISBOA

UNIVERSIDADE
DE LISBOA



AVALIAÇÃO DE EFICIÊNCIA DE ORDENHA E DO SEU IMPACTO NA EXPLORAÇÃO
LEITEIRA EM EFETIVOS DA REGIÃO SUL DE PORTUGAL

SEBASTIÃO GRAVE CALDEIRA FERNANDES

ORIENTADOR:

Doutor José Ricardo Dias Bexiga

TUTOR:

Dr. Dário Alexandre de Sá Guerreiro

2021

UNIVERSIDADE DE LISBOA

FACULDADE DE MEDICINA VETERINÁRIA

U LISBOA

UNIVERSIDADE
DE LISBOA



AVALIAÇÃO DE EFICIÊNCIA DE ORDENHA E DO SEU IMPACTO NA EXPLORAÇÃO
LEITEIRA EM EFETIVOS DA REGIÃO SUL DE PORTUGAL

SEBASTIÃO GRAVE CALDEIRA FERNANDES

DISSERTAÇÃO DE MESTRADO INTEGRADO EM MEDICINA VETERINÁRIA

JÚRI

PRESIDENTE:

Doutor Miguel Luís Mendes Saraiva Lima

VOGAIS:

Doutor Rui José Branquinho de Bessa

Doutor José Ricardo Dias Bexiga

ORIENTADOR:

Doutor José Ricardo Dias Bexiga

TUTOR:

Dr. Dário Alexandre de Sá Guerreiro

2021

Nome: Sebastião Grave Caldeira Fernandes

Título da Tese ou Dissertação: Avaliação de eficiência de ordenha e do seu impacto na exploração leiteira em efectivos da região Sul de Portugal

Ano de conclusão (indicar o da data da realização das provas públicas): 2021

Designação do curso de Mestrado ou de Doutoramento: Mestrado Integrado em Medicina Veterinária

Área científica em que melhor se enquadra (assinale uma):

- Clínica Produção Animal e Segurança Alimentar
 Morfologia e Função Sanidade Animal

Declaro sobre compromisso de honra que a tese ou dissertação agora entregue corresponde à que foi aprovada pelo júri constituído pela Faculdade de Medicina Veterinária da ULISBOA.

Declaro que concedo à Faculdade de Medicina Veterinária e aos seus agentes uma licença não-exclusiva para arquivar e tornar acessível, nomeadamente através do seu repositório institucional, nas condições abaixo indicadas, a minha tese ou dissertação, no todo ou em parte, em suporte digital.

Declaro que autorizo a Faculdade de Medicina Veterinária a arquivar mais de uma cópia da tese ou dissertação e a, sem alterar o seu conteúdo, converter o documento entregue, para qualquer formato de ficheiro, meio ou suporte, para efeitos de preservação e acesso.

Retenho todos os direitos de autor relativos à tese ou dissertação, e o direito de a usar em trabalhos futuros (como artigos ou livros).

Concordo que a minha tese ou dissertação seja colocada no repositório da Faculdade de Medicina Veterinária com o seguinte estatuto (assinale um):

- Disponibilização imediata do conjunto do trabalho para acesso mundial;
- Disponibilização do conjunto do trabalho para acesso exclusivo na Faculdade de Medicina Veterinária durante o período de 6 meses, 12 meses, sendo que após o tempo assinalado autorizo o acesso mundial*;


* Indique o motivo do embargo (OBRIGATÓRIO)

Nos exemplares das dissertações de mestrado ou teses de doutoramento entregues para a prestação de provas na Universidade e dos quais é obrigatoriamente enviado um exemplar para depósito na Biblioteca da Faculdade de Medicina Veterinária da Universidade de Lisboa deve constar uma das seguintes declarações (incluir apenas uma das três):

- É AUTORIZADA A REPRODUÇÃO INTEGRAL DESTA TESE/TRABALHO APENAS PARA EFEITOS DE INVESTIGAÇÃO, MEDIANTE DECLARAÇÃO ESCRITA DO INTERESSADO, QUE A TAL SE COMPROMETE.
- É AUTORIZADA A REPRODUÇÃO PARCIAL DESTA TESE/TRABALHO (indicar, caso tal seja necessário, nº máximo de páginas, ilustrações, gráficos, etc.) APENAS PARA EFEITOS DE INVESTIGAÇÃO, MEDIANTE DECLARAÇÃO ESCRITA DO INTERESSADO, QUE A TAL SE COMPROMETE.
- DE ACORDO COM A LEGISLAÇÃO EM VIGOR, (indicar, caso tal seja necessário, nº máximo de páginas, ilustrações, gráficos, etc.) NÃO É PERMITIDA A REPRODUÇÃO DE QUALQUER PARTE DESTA TESE/TRABALHO.

Faculdade de Medicina Veterinária da Universidade de Lisboa, 9 de fevereiro de 2021

Assinatura: _____



Agradecimentos

Ao professor Ricardo Bexiga, por ter aceitado orientar o meu estágio e pela disponibilidade e apoio sempre demonstrados ao longo desta caminhada. Estou grato pela forma como valorizou o meu esforço e trabalho, pelas oportunidades de desenvolvimento profissional que me proporcionou, pela possibilidade de num futuro próximo podermos continuar a trabalhar juntos, mas acima de tudo estou agradecido pela sua amizade e boa disposição.

Ao Dr. Dário Guerreiro, que foi um tutor fantástico, a quem vou estar para sempre grato pelos conhecimentos técnicos que transmitiu, mas sobretudo pelo exemplo de vida, de vocação e de fé que foi. Espero no futuro poder dar a alguém o que dele recebi.

Ao Professor Luís Telo da Gama e ao Dr. Gonçalo Pereira pela imprescindível ajuda e disponibilidade no tratamento estatístico dos dados recolhidos.

À minha mãe pela amizade, preocupação e apoio durante estes 26 anos, mas em especial durante o meu percurso universitário, as provas teriam sido certamente superiores sem a sua ajuda.

Ao meu pai, o meu melhor amigo e primeiro professor de veterinária, o sucesso profissional que eu possa algum dia vir a ter, será seguramente fruto do investimento por ele feito na minha formação. Estou grato pela ajuda que me deu nas cronometragens neste estudo, não teria sido possível apresentar estes resultados sem o seu contributo.

À minha irmã, pela amizade e pelo exemplo de dedicação e trabalho durante a pandemia cá em casa, que foi fundamental para vencer a minha própria preguiça. À minha avó Luísa, à minha avó Guiomar e ao meu avô Joaquim, pelo apoio incondicional e pela fé que tiveram e têm em mim.

Ao Dr. André Silva, que numa prova de amizade e confiança, que espero continuar a merecer, me cedeu os VaDias que permitiram a realização deste estudo. Ao Jos Van Acht por me ter recebido na sua exploração leiteira, o primeiro estágio que me alertou para a importância do maneio e da gestão do quotidiano na exploração leiteira.

A todos os produtores de leite, que neste contexto difícil de pandemia receberam um estranho nas suas instalações, com algum risco, mas felizmente sem consequências.

Aos diretores do Summer Dairy Institute em Cornell, por me terem considerado merecedor de participar no programa, foi possivelmente a melhor experiência de aprendizagem da minha vida.

Aos elementos da Serbuvet, Dr. Bruno Moreira, Dr Pedro Lima e Dr. João Paisana, pela amizade e conhecimentos técnicos.

Ao Quality Milk Production Services, por me terem recebido como estagiário, foi a melhor escola de qualidade de leite e avaliação de salas de ordenha que podia ter pedido. Não podia deixar de fazer um agradecimento especial ao Dr. Paul Virkler e ao Dr. Matthias Wieland pela

ajuda no desenvolvimento desta dissertação e pela imediata disponibilidade para esclarecer qualquer dúvida relacionada com a interpretação dos registos de vácuo.

Aos veterinários e nutricionistas da Dairy Doctors no Winsconsin, da Lander Vet Clinic, da Mill Creek Veterinary Services e da Progressive Dairy Solutions na Califórnia e da Perry Vet Clinic em Nova Iorque, por terem recebido um estranho que lhes invadiu a caixa de email, todos estes estágios foram experiências de desenvolvimento pessoal e profissional únicas. Deixo um agradecimento especial ao Dr. Michael Capel, que me recebeu em sua casa durante a ação de graças e ao Dr. Mike Steine, que me ajudou a coordenar os estágios na Califórnia.

À minha querida amiga Margarida Resende, pela amizade, pelo companheirismo, pela boa disposição, não podia ter tido alguém melhor para partilhar este percurso. À Ana Bettencourt minha colega, amiga e companheira de Missões, de estudo, de trabalho e de copos. Ao Zé Calejo Pires um grande amigo e companheiro de época de exames, com a melhor sentença de humor e gargalhada de sempre.

À Missão País da FMV, por me ter permitido experimentar a fé católica através do serviço ao outro, acompanhado de fantásticos colegas e amigos de faculdade, que são o verdadeiro “sal da terra”, entre os quais quero destacar a Pureza Duarte Ferreira, que me acompanhou como chefe geral e fez sobressair o melhor em mim.

Ao serviço de cirurgia do HEV, por ajudarem a tornar a penosa tarefa de recuperar assinatura para o logbook numa experiência cheia de boa disposição e rica em aprendizagem.

A todos os meus amigos de infância, colegas de curso e professores que de alguma forma contribuíram para enriquecer os 5 anos muito bem passados na FMV.

A Deus que se fez e continua a fazer presente na minha vida através de todas estas pessoas.

Avaliação de eficiência de ordenha e do seu impacto na exploração leiteira em efetivos na região sul de Portugal

Resumo

Para maximizar o retorno do capital investido na sala de ordenha, devem ser ordenhadas de forma suave e completa o maior número de vacas no menor intervalo de tempo possível. A ordenha bimodal e a sobreordenha, representam os principais eventos, que influem negativamente na eficiência do processo de remoção do leite e na saúde do teto.

Com os objetivos de investigar a prevalência de bimodalidade da ordenha e sobreordenha, na região sul de Portugal, determinar quais as variáveis individuais e da exploração associadas com estas ocorrências, e avaliar o impacto da sobreordenha e da ordenha bimodal no fluxo médio de leite durante a ordenha e na produção de leite por ordenha, 21 explorações na região sul de Portugal, foram visitadas uma vez, durante o período de estudo. Foi cronometrada a rotina de ordenha, avaliada a condição dos tetos e feita avaliação dinâmica do vácuo de ordenha. Foram obtidos 607 registos gráficos de vácuo, em média a 29 ± 3 registos por exploração, de forma a avaliar de forma indireta o fluxo de leite e assim determinar a ocorrência de ordenha bimodal e o tempo em sobreordenha.

A percentagem média de bimodalidade por exploração foi 41.7%. O tempo mediano em sobreordenha dos 607 animais avaliados foi 59 segundos, e em média 78.3% das vacas, de cada exploração, estiveram pelos menos 30 segundos em sobreordenha. Foi encontrada uma associação entre a ocorrência de ordenha bimodal e o número de dias em leite ($P=0.0004$), o tempo total de estimulação ($P=0.0331$) e o tempo de latência ($P=0.001$). O incremento do tempo total de estimulação médio ($P=0.02$) e do número de passagens durante a preparação ($P=0.0289$) foi associado a uma diminuição da proporção de bimodalidade. A paridade ($P<0.0001$), a recolocação da unidade de ordenha ($P=0.0091$) e a ordenha em modo manual ($P<0.0001$) foram associados ao aumento do tempo em sobreordenha de uma vaca. Já a presença de coletores obstruídos ($P=0.0387$) e a redução do fluxo de retirada ($P=0.0056$) estão associadas ao aumento do tempo mediano em sobreordenha na exploração. O fluxo médio de leite diminuiu com o aumento do tempo em sobreordenha ($P<0.0001$) e em ordenhas bimodais ($P=0.0002$). Registou-se uma associação entre a bimodalidade ($P<0.0001$) e a redução do leite ordenhado.

Estes resultados são demonstrativos do impacto da bimodalidade e da sobreordenha na eficiência de ordenha, e reforçam a importância da ação dos ordenhadores e do funcionamento da sala de ordenha para sua prevenção.

Palavras-chave: bimodalidade; sobreordenha; eficiência de ordenha; saúde do teto; fatores de risco;

Evaluation of milking efficiency and its impact on dairy farming in herds in southern Portugal

Abstract

To maximize the return on capital invested in the milking parlor, the largest number of cows should be milked gently and completely in the shortest possible time. Bimodal milk flow and overmilking are the main events, which negatively influence the efficiency of the milk removal process and the teat health.

With the objective of investigating the prevalence of bimodal milk flow and overmilking, in the south of Portugal, determine which individual and farm-related variables are associated with these occurrences, determining the impact of overmilking and bimodal milk flow on the average milk flow and milk yield by milking session, 21 farms in the south of Portugal were visited once during the study period. The milking routine was timed, the teat condition was assessed, and dynamic evaluation of the milking vacuum was performed. A total of 607 vacuum graphic records were obtained, with an average of 29 ± 3 records per farm, in order to indirectly evaluate the milk flow and thus determine the occurrence of bimodal milking and the time in overmilking.

The average percentage of bimodality per farm was 41.7%. The median overmilking time of the 607 evaluated cows was 59 seconds, and on average 78.3% of the cows, in a herd, were overmilked for more than 30 seconds. An association was found between the occurrence of bimodal milking and the number of days in milk ($P=0.0004$), the total stimulation time ($P=0.0331$) and the latency time ($P=0.001$). The increase in the mean total stimulation time ($P=0.02$) and the number of passes during preparation ($P=0.0289$) was associated with a decrease in the proportion of bimodality. Parity ($P<0.0001$), reattachment of the milking unit ($P=0.0091$) and milking in manual mode ($P<0.0001$) were associated with an increase in the overmilking time of an individual cow. The presence of clogged air bleed hole in the claw ($P=0.0387$) and the reduction of the take-off flow ($P=0.0056$) were associated with an increase in the herd's median overmilking time. The average milk flow decreased with the increase of overmilking time ($P<0.0001$) and with the occurrence of bimodal milk flow ($P=0.0002$). An association was also found between the occurrence of bimodal milk flow ($P<0.0001$) and decreased milk yield.

These results demonstrate the impact of bimodality and overmilking on milking efficiency and reinforce the importance of the milkers' actions and the functioning of the milking parlour for its prevention.

Keywords: bimodality; overmilking; milking efficiency; teat health; risk factors

Índice

1. Relatório de estágio.....	1
2. Introdução	4
3. Revisão bibliográfica	5
3.1. A glândula mamária	5
3.1.1 Anatomia microscópica da glândula mamária.....	5
3.1.2. O teto e o canal do teto	6
3.2 Distribuição do leite no úbere bovino	7
3.3. A descida do leite.....	8
3.3.1. O reflexo da descida do leite	8
3.3.2. Estimulação táctil do úbere e a libertação de ocitocina.....	9
3.3.3. Rotina pré-ordenha e a descida do leite	10
3.3.4. A descida do leite durante a ordenha	11
3.4. A máquina de ordenha.....	11
3.4.1 Produção de vácuo.....	12
3.4.2 Regulação do vácuo.....	12
3.4.3 Tanque de distribuição e vaso intercetor	13
3.4.4 Sistema de transporte do leite	13
3.4.4.1 Armadilha sanitária	13
3.4.4.2 Vaso recetor e bomba do leite	14
3.4.4.3 Linha de transferência do leite	14
3.4.5 Unidade de ordenha	14
3.4.6 Sistema de pulsação	15
3.4.7 Retirador automático	15
3.5. A ordenha mecânica	16
3.5.1. O fluxo de leite durante a ordenha.....	16
3.5.2. Biomecânica da ordenha	17
3.5.2.1. Movimento do teto na tetina durante a ordenha	17
3.5.2.2 O teto na fase aberta do ciclo de pulsação	18
3.5.2.3 O teto na fase fechada do ciclo de pulsação	18
3.5.3 O vácuo durante a ordenha	19
3.6.4. A ordenha mecânica e a saúde do teto	20
3.6.4.1 Alterações de curto prazo na condição do teto.....	21
3.6.4.2. Alterações de médio prazo na condição do teto.....	21
3.6.4.3. Alterações de longo prazo na condição do teto.....	21
4. Objetivos	22
5. Material e métodos	23

5.1	Desenho experimental	23
5.1.1	Caracterização das explorações leiteiras	23
5.1.2	Recolha de dados.....	23
5.1.2.1	Avaliação e cronometragem do protocolo de ordenha	24
5.1.2.2	Avaliação dinâmica do vácuo	24
5.1.2.3	Avaliação da condição dos tetos	27
5.2	Análise estatística	27
5.2.1	Análise estatística inferencial a nível da exploração leiteira.....	28
5.2.1.1	Proporção de ordenha bimodal	28
5.2.1.2	Tempo mediano em sobreordenha	28
5.2.2	Análise estatística inferencial a nível individual	29
5.2.2.1	Ordenha bimodal	29
5.2.2.2	Tempo em sobreordenha	30
5.2.2.3	Fluxo médio de leite	30
5.2.2.4	Leite ordenhado	30
5.2.3	Seleção das variáveis e análise dos resíduos	31
6.	Resultados	31
6.1	Características das explorações leiteiras	31
6.2	Características das salas de ordenha	32
6.3	Características da rotina de ordenha	32
6.4	Tempo total de estimulação e tempo de latência	33
6.5	Avaliação dinâmica do vácuo de ordenha	35
6.5.1	Vácuo médio no coletor e pulsação	35
6.5.2	Ordenha bimodal.....	35
6.5.3	Sobreordenha.....	36
6.6	Avaliação da condição dos tetos	38
6.7	Modelos lineares generalizados.....	38
6.7.1	Proporção de bimodalidade.....	38
6.7.2	Tempo mediano em sobreordenha	39
6.7.3	Ocorrência de ordenha bimodal.....	39
6.7.4	Tempo em sobreordenha	40
6.4.5	Fluxo médio de leite	41
6.4.6	Leite ordenhado	42
7.	Discussão de resultados.....	42
7.1	Ordenha bimodal	43
7.2	Sobreordenha	47
7.3	Leite ordenhado	52

7.4. Fluxo médio de leite	54
7.5. Alterações na condição dos tetos.....	56
7.6 Limitações do estudo e investigações futuras	58
8. Conclusão	59
9. Bibliografia	60

Lista de Figuras

Figura 1.....	26
Figura 2.....	26

Lista de Gráficos

Gráfico 1.....	33
Gráfico 2.....	34
Gráfico 3.....	37
Gráfico 4.....	38

Lista de Tabelas

Tabela 1.....	34
Tabela 2.....	36
Tabela 3.....	37
Tabela 4.....	39
Tabela 5.....	39
Tabela 6.....	40
Tabela 7.....	41
Tabela 8.....	41
Tabela 9.....	42

Lista de Abreviaturas

EUA – Estados Unidos da América

g - grama

g/min - grama por minuto

ISO - International Standardization Organization

kg - kilograma

kg/min - kilograma por minuto

kPa - kilopascal

l/min - litros por minuto

min - minuto

mm - milímetro

ms - milissegundo

NMC - National Mastitis Council

pg/ml - picograma por mililitro

s - segundo

1. Relatório de estágio

O estágio curricular, do Mestrado Integrado em Medicina Veterinária da Faculdade de Medicina Veterinária da Universidade de Lisboa (FMV-UL), teve a duração de 4,5 meses, com início dia 15 de setembro de 2018 e término a 31 de janeiro de 2019, sob a orientação do Dr. Dário Alexandre de Sá Guerreiro. Este estágio foi realizado no âmbito de clínica e sanidade de ruminantes em regime de ambulatório, na empresa Sá Guerreiro Vet, que presta assistência a explorações de bovinos nas regiões da Estremadura, Ribatejo e Alentejo.

O trabalho desempenhado em explorações de bovinos correspondeu a 90% do trabalho realizado ao longo do estágio, repartindo-se por explorações de vacas aleitantes em regime extensivo (63%), explorações de vacas leiteiras (28%) e explorações de engorda de bovinos (9%).

No que respeita o trabalho realizado em vacas aleitantes, 50% do tempo foi dedicado à realização de saneamentos, inseridos nos programas de controlo e erradicação da tuberculose e brucelose bovina. Nestes serviços procedeu-se à recolha de sangue de todos os animais com mais de um ano do efetivo, para posterior envio para laboratório e realização do teste rosa de Bengala, como forma despiste da brucelose. Realizou-se também o teste da intradermotuberculização comparada, em todos os animais com mais de 42 dias, de forma a detetar animais com tuberculose. Estes serviços foram geralmente acompanhados pela administração de anti-helmínticos de largo espectro, geralmente uma lactona macrocíclica, acompanhada de um composto fasciolicida, como o closantel ou o clorsulon. Procedeu-se também, de forma geral, à administração de uma vacina inativada polivalente, com bacterinas e toxóides de *Clostridium spp.*, assim como de uma vacina viva atenuada marcada do vírus da rinotraqueíte infecciosa bovina e de uma vacina inativada contra o vírus da diarreia viral bovina. Estes programas vacinais foram articulados com o saneamento, de forma a dispensar um dia adicional de manejo do gado.

O trabalho clínico em bovinos aleitantes, representou 25% das atividades realizadas, com estes animais. A doença que mais frequentemente levou a que o veterinário fosse chamado à exploração foi diarreia neonatal. Esta doença tem como principais agentes causais *Escherichia coli*, *Cryptosporidium parvum*, rotavírus ou coronavírus. Era frequentemente realizado um teste rápido de deteção de antigénio, pelo menos no primeiro caso de diarreia neonatal detetado numa exploração. A larga maioria dos casos revelou ser causada por *Cryptosporidium parvum*. A abordagem terapêutica a esta doença assentou primariamente no restabelecimento do equilíbrio hidroeletrólítico e ácido-base, através da fluidoterapia, e na administração de antibióticos, frequentemente da classe das fluoroquinolonas ou cefalosporinas, de forma a diminuir os efeitos da passagem de bactérias intestinais para a corrente sanguínea.

Os partos distócicos também representaram uma parte significativa da casuística. Na abordagem a estes casos, após a contenção da vaca, lavagem da vulva e região envolvente, e lubrificação adicional do canal obstétrico, era determinada a apresentação, posição e atitude do bezerro. Posteriormente eram efetuadas as correções necessárias, de modo a possibilitar a passagem do bezerro pelo canal obstétrico e eram colocadas as cordas obstétricas de modo a realizar tração. A tração era frequentemente realizada com recurso a um macaco obstétrico. Na impossibilidade de remover o bezerro vaginalmente, era frequente o recurso à cesariana caso o bezerro se encontrasse vivo, ou à fetotomia, caso este último estivesse morto.

Os restantes casos clínicos testemunhados surgiram de forma mais esporádica, com uma frequência bastante inferior. Entre os quais se podem enumerar: panarício interdigital, metrite puerperal, doença respiratória bovina, meteorismo espumoso, queratoconjuntivite infecciosa bovina, anafilaxia, leptospirose, prolapso uterino e intoxicação por taninos.

O trabalho de controlo reprodutivo em bovinos aleitantes representou os restantes 25% do trabalho realizado em efetivos aleitantes. Neste âmbito, procedeu-se nos efetivos sem época de reprodução definida, ao diagnóstico de gestação, por ecografia transrectal, a todos os animais com mais de 100 dias pós-parto, e a todos os animais em que no primeiro diagnóstico positivo o embrião apresentava menos de 60 dias. Nas explorações com época de reprodução definida, o controlo reprodutivo foi realizado a todos os animais 50 dias depois da remoção dos touros.

As atividades realizadas em explorações leiteiras consistiram, principalmente, em trabalho de controlo reprodutivo (80%). Para o efeito, eram realizados exames reprodutivos em quatro momentos distintos. Um primeiro exame ecográfico, cerca de 30 dias pós-parto, de forma a avaliar a involução uterina, um primeiro diagnóstico de gestação a partir dos 30 dias após a inseminação, a confirmação da gestação 90 dias após a inseminação e uma reconfirmação da gestação antes da secagem 180 dias após a inseminação. O exame pós-parto tem em vista detetar doença uterina, de forma a implementar terapêutica adequada (eram utilizados um análogo de prostaglandina e cefapirina intra-uterina). Os múltiplos diagnósticos de gestação têm como objetivo fundamental detetar vacas não gestantes e assegurar que são inseminadas o mais rapidamente possível, de forma a minimizar o número de dias abertos.

Da atividade clínica realizada em bovinos leiteiros, vale a pena destacar, por se diferenciar da casuística reportada em vacas aleitantes o tratamento cirúrgico de deslocamentos do abomaso à esquerda (mais frequente) e à direita. A técnica utilizada foi a piloropexia, com acesso pela fossa paralombar direita.

O trabalho desenvolvido em bovinos de engorda foi eminentemente clínico, com a doença respiratória bovina a apresentar-se como principal razão de chamada do veterinário à exploração. O diagnóstico era realizado com base na auscultação pulmonar, na avaliação

da temperatura rectal e na observação da atitude do animal. A terapêutica instituída nestes casos consistiu na administração de antibióticos, geralmente da classe dos macrólidos, e anti-inflamatórios não esteroides. A restantes casuística consistiu em casos esporádicos de indigestão simples, panarício interdigital e outras afeções no sistema locomotor.

Entre as atividades realizadas fora do estágio curricular merecem uma nota nesta secção o estágio não curricular nos Estados Unidos da América entre junho e dezembro de 2019.

A primeira etapa deste estágio decorreu entre 17 de junho e 26 de julho de 2019 com a participação no Summer Dairy Institute na escola de medicina veterinária da universidade de Cornell em Ithaca. Este programa consiste num curso avançado de medicina da produção em explorações leiteiras, onde vários professores convidados abordam os tópicos mais recentes em temas como nutrição, instalações, reprodução, qualidade de leite, recria e avaliação de índices produtivos. Esta formação apresentou também uma componente prática, em que foi atribuída uma exploração leiteira a diferentes grupos de alunos, para ser objeto de estudo. Os grupos de alunos tiveram como missão elaborar um relatório completo da exploração, no qual figuravam sugestões de melhoria, baseadas em evidências científicas, com respetivo retorno esperado em resultado das respetivas intervenções.

A segunda etapa deste estágio decorreu no *Quality Milk Production Services* da universidade de Cornell, durante quatro semanas. Neste serviço de extensão da universidade foram desempenhadas tarefas integradas em programas de promoção da qualidade de leite e saúde úbere em explorações de grande e média dimensão (200 a 5000 vacas em ordenha) na região central do estado de Nova Iorque. Entre os trabalhos executados destacam-se: a avaliação da condição dos tetos, avaliação da higiene do ambiente, do úbere, da região inferior do membro pélvico e da rotina de ordenha, avaliação dinâmica de sistemas de pulsação, determinação do vácuo no coletor durante o pico de fluxo, avaliação completa de vácuo em sistemas de ordenha, avaliação de curvas de fluxo de leite com recurso a um Lactocorder®, cronometragem de rotinas de ordenha e análise de registos da evolução da contagem de células somáticas das explorações.

O terceiro etapa do estágio decorreu no Wisconsin, em Plymouth, que se localiza na “cintura do queijo”, na clínica Dairy Doctors. O trabalho realizado nesta clínica foi maioritariamente clínico e de controlo reprodutivo. Em razão de a clínica servir um grande número de explorações de elevado valor genético a clínica apresenta uma grande casuística, no que respeita a clínica e cirurgia. Por esta razão, ao longo de três semanas de estágio houve oportunidade de participar em cerca de 80 cirurgias, entre deslocamentos do abomaso, torções de ceco, invaginações intestinais, amputações de dígito e cesarianas.

A quarta e quinta parte do estágio, pela sua similaridade, podem ser referidos em conjunto, tendo decorrido no *Central Valley* na Califórnia na Lander Veterinary Clinic, em

Turlock e na Mill Creek Veterinary Services, em Visália. Nestes estágios o trabalho desenvolvido foi essencialmente no âmbito do controlo reprodutivo de grandes explorações (1000 a 10.000 vacas em ordenha). Nesta região, é muito pouco frequente os veterinários serem chamados à exploração para observar um animal, estabelecendo protocolos para serem aplicados pelos funcionários para diagnóstico e tratamento das doenças mais comuns. É de salientar, porém o trabalho realizado, em ambas as clínicas, integrado em programas de melhoramento genético, com recurso a *ovum pick up*, fertilização *in vitro* e transferência a fresco de embriões.

O estágio na empresa Progressive Dairy Solutions, teve lugar na Califórnia. Esta empresa consiste num grupo de nutricionistas e consultores, que avaliam índices técnicos produtivos e formulam arraçamentos para explorações leiteiras. O trabalho realizado neste estágio consistiu no acompanhamento destes consultores durante as suas visitas às explorações e posteriormente assistir à formulação dos arraçamentos

O estágio final decorreu na Perry Veterinary Clinic, na região oeste do estado de Nova Iorque, durante quatro semanas. Este estágio apresentou uma natureza muito diversa pela variedade de clientes desta clínica (50 a 6000 vacas em ordenha), tendo apresentado uma forte componente de clínica e reprodução. Merece destaque, todavia, o trabalho de consultoria realizado, com base na avaliação de registos e índices técnicos realizado.

2. Introdução

A ordenha corresponde à atividade desempenhada numa exploração leiteira com maior dispêndio de mão-de-obra (Hansen 1999), podendo as tarefas relacionadas com a ordenha (condução das vacas à sala e para os parques, preparação do úbere, ordenha, lavagem do sistema) chegar a utilizar 50% da força de trabalho disponível na exploração (Chang et al. 1992). Nos Estados Unidos da América, no ano de 2018, os custos relacionados com o trabalho numa exploração leiteira corresponderam em média a 10.6% da receita bruta da operação (USDA 2020). Como tal, pela sua importância na estrutura do trabalho na produção de leite, a otimização do processo de ordenha tem o potencial de reduzir os encargos de uma vacaria.

Para garantir uma ordenha rápida e completa é necessário adequar o sistema de ordenha às características da exploração, assegurar uma sintonia perfeita entre a anatomia da glândula mamária, a fisiologia da descida do leite e a máquina de ordenha, garantindo que as especificações técnicas do sistema de ordenha estão de acordo com as melhores recomendações atuais.

O leite constitui a principal receita das explorações leiteiras, e a sua qualidade constitui um fator de valorização, desta forma, para além de assegurar uma ordenha rápida e completa,

o sistema de ordenha deve estar ajustado de forma a preservar a saúde do úbere e dos tetos e garantir o bem-estar animal.

A presente dissertação de mestrado visa abordar diversos aspetos relacionados com a eficiência do processo de ordenha em explorações da região sul de Portugal, com o intuito de encontrar oportunidades que se possam traduzir numa otimização da utilização das salas de ordenha e da mão-de-obra disponível na exploração e em melhorias do bem-estar animal.

3. Revisão bibliográfica

3.1. A glândula mamária

A glândula mamária é uma glândula da pele, que evoluiu em todas as espécies mamíferas com a função de nutrir os recém-nascidos no período perinatal (Akers 2002). No entanto através de avanços no maneio, na tecnologia de ordenha e na seleção genética, os animais produtores de leite destinado ao consumo humano produzem quantidades muito superiores às necessidades nutricionais do recém-nascido (Nickerson and Akers 2011).

Numa fêmea mamífera, a glândula mamária madura é composta por alvéolos, responsáveis pela síntese e secreção de leite, pelos ductos associados, responsáveis por conduzir o leite dos tecidos produtores para o exterior, e por um teto ou mamilo (Akers 2002). Nos ruminantes domésticos as glândulas mamárias estão agregadas numa estrutura designada por úbere. As glândulas que constituem o úbere são funcionalmente independentes, apresentando cada uma o seu próprio tecido secretor, sistema de ductos, e teto (Nickerson and Akers 2011).

O úbere bovino é formado por quatro glândulas mamárias que constituem quatro quartos funcionalmente independentes (Bruckmaier and Blum 1998). As metades esquerda e direita do úbere estão divididas por um espesso septo de tecido conjuntivo, o septo intramamário. Os quartos traseiros e dianteiros estão separados por um fino septo de tecido conjuntivo (Nickerson and Akers 2011).

3.1.1 Anatomia microscópica da glândula mamária

O parênquima mamário é formado pelos alvéolos, ductos e tecido conjuntivo de suporte. Os alvéolos correspondem a estruturas globulares revestidas internamente por um epitélio cuboide simples, vascularizadas por uma extensa rede capilar. As células do epitélio alveolar obtêm dos capilares adjacentes os precursores dos componentes do leite e contêm no seu interior os organitos celulares, que permitem a sua conversão em lactose, proteína e gordura do leite (Nickerson and Akers 2011).

Entre a lâmina basal e as células do epitélio secretor existe uma rede celular que envolve os alvéolos, como um cesto. Esta rede é formada por células mioepiteliais, células

epiteliais especializadas, ricas em miofilamentos de actina e com numerosos processos celulares. O leite contido no interior dos alvéolos é drenado por pequenos ductos com capacidade secretora que também são envolvidos longitudinalmente por células mioepiteliais (Linzell 1955; Bruckmaier and Blum 1998).

Os pequenos ductos que drenam os alvéolos convergem progressivamente em ductos de maior calibre, drenando eventualmente para um espaço coletor de maior dimensão e localização ventral designado de cisterna da glândula mamária (Nickerson and Akers 2011).

3.1.2. O teto e o canal do teto

O teto corresponde a uma protuberância da glândula mamária utilizada, na sua função biológica, pelo vitelo para remover o leite produzido e armazenado no úbere (Edmonson and Blowey 2010). No cenário moderno de produção leiteira, o teto constitui a superfície de contacto da glândula mamária com a tetina da unidade de ordenha (Weiss et al. 2004).

No seu interior o teto apresenta uma cavidade, designada por cisterna do teto, que recebe o leite proveniente da cisterna da glândula mamária. Na zona de união entre estes dois reservatórios existe uma constrição designada prega anular (Edmonson and Blowey 2010; Nickerson and Akers 2011).

A parede do teto, que delimita a cisterna, é uma estrutura constituída por três estratos distintos. O estrato interno reveste a cisterna do teto e é constituído por uma dupla camada de epitélio cuboide, cuja superfície pode ser lisa ou apresentar múltiplas pregas horizontais ou longitudinais. O estrato intermédio, o mais espesso da parede do teto, é essencialmente formado por feixes de tecido muscular liso organizados de forma circular, longitudinal e oblíqua. Externamente o teto é revestido por pele, subdividindo-se esta na camada epidérmica, um epitélio pavimentoso estratificado queratinizado firmemente ancorado na camada subjacente, a derme. Esta última é constituída na sua porção superior ou papilar por tecido conjuntivo laxo rico em vasos sanguíneos que garantem o suporte à epiderme, a camada inferior, ou reticular é mais espessa e rica em fibras do sistema elástico. A pele do teto é desprovida de pelo e glândulas anexas. (Edmonson and Blowey 2010; Nickerson and Akers 2011; Ferdowsi 2013)

A cisterna do teto termina ventralmente no canal do teto, uma abertura cilíndrica com pregas longitudinais, através da qual o leite é removido (Nickerson and Akers 2011). As dimensões do canal do teto são variáveis e estão relacionadas com a velocidade do fluxo de leite (Weiss et al. 2004) e com a suscetibilidade a infeções intramamárias (Grindal et al. 1991). O comprimento do canal do teto varia entre 3mm e 18mm, medindo em média 10mm, podendo o seu diâmetro medir entre 0.35mm e 5mm, apresentando um diâmetro médio de 2mm. (Paulrud 2005). O canal do teto apresenta um epitélio pavimentoso estratificado queratinizado, contíguo à pele do teto, cuja contínua descamação da camada superficial conduz à formação

de um tampão de queratina que protege a glândula mamária no período entre ordenhas (Paulrud 2005; Edmonson and Blowey 2010).

Na zona de união entre a cisterna e o canal do teto, as pregas longitudinais da cisterna convergem numa estrutura designada roseta de Fürstenberg. Nesta estrutura residem populações de leucócitos, predominantemente linfócitos e plasmócitos, que atuam como uma defesa local contra agentes patogénicos (Edmonson and Blowey 2010).

3.2 Distribuição do leite no úbere bovino

A secreção de leite para o lúmen alveolar ocorre de forma contínua, no entanto a sua remoção é apenas periódica. Sendo assim necessário o armazenamento, no úbere, do leite produzido no período entre ordenhas (Knight et al. 1994; Nickerson and Akers 2011).

Quando armazenado, o leite distribui-se por dois compartimentos: parte permanece retida no interior dos alvéolos e pequenos ductos – constituindo o leite alveolar – enquanto que o restante é armazenado no lúmen dos ductos de maior dimensão e nas cisternas, formando o leite cisternal (Knight et al. 1994; Pfeilsticker et al. 1996; Ayadi et al. 2003).

A quantidade de leite nos dois compartimentos não é estática, variando em função do tempo decorrido desde a última ordenha. Imediatamente após a remoção do leite a fração cisternal é nula (Knight et al. 1994), residindo apenas no compartimento alveolar o leite residual, que corresponde à porção de leite que permanece nos alvéolos após ordenha convencional, que apenas pode ser removida por injeções subsequentes de ocitocina, em doses suprafisiológicas (Knight et al. 1994; Pfeilsticker et al. 1996).

As horas que se seguem até à ordenha seguinte, são marcadas por um aumento progressivo da quantidade de leite presente nos alvéolos e pequenos ductos (Knight et al. 1994). Pelo contrário as cisternas e grandes ductos, apresentam um padrão de enchimento com duas fases distintas, registando-se pequenos aumentos na quantidade de leite armazenada neste compartimento nas primeiras 4 a 5 horas após a ordenha, com um posterior período de enchimento rápido, nas 7 horas seguintes (Knight et al. 1994; Ayadi et al. 2003). Esta dinâmica de enchimento cisternal ocorre devido ao aumento da pressão no interior do compartimento alveolar em resultado da síntese e secreção de leite. A pressão de secreção promove a passagem de leite para a o interior das cisternas e grandes ductos. No entanto, é necessário atingir um volume limite no compartimento alveolar antes de ocorrer transferência entre compartimentos (Knight et al. 1994). Num espaço de 8 a 12 horas após a ordenha, em média mais de 80% do leite contido no úbere está armazenado no compartimento alveolar, residindo menos de 20% nas cisternas e grandes ductos (Knight et al. 1994; Pfeilsticker et al. 1996).

Para além do tempo decorrido desde a última ordenha, a distribuição do leite na glândula mamária é também influenciada pela taxa de secreção de leite e pela dimensão da

cisterna do teto. Conseqüentemente, animais em fases mais avançadas da lactação terão uma menor quantidade de leite no compartimento cisternal, uma vez que a taxa de secreção alveolar diminui ao longo da lactação (Pfeilsticker et al. 1996). Vacas na primeira lactação também apresentam menor quantidade de leite nas cisternas e grandes ductos, devido à menor dimensão deste compartimento e menor taxa de secreção de leite, quando comparadas com múltiparas (Pfeilsticker et al. 1996; Ayadi et al. 2003).

3.3. A descida do leite

A distribuição do leite no úbere tem grande relevância para a ordenha mecânica, visto que as frações alveolar e cisternal apresentam diferentes disponibilidades para ser removidas. O leite armazenado na cisterna e grandes ductos pode ser passivamente removido após ser sobreposta a barreira do esfíncter do teto, o que pode ser feito por canulação ou por um vácuo de 15 a 20kPa (Knight et al. 1994; Weiss et al. 2004). Por outro lado, a fração alveolar encontra-se fixa nos alvéolos e pequenos ductos por forças adesivas e capilares, sendo necessária a sua transferência ativa para o compartimento cisternal para que possa ser extraída (Bruckmaier et al. 1993). Dá-se o nome de descida ou ejeção do leite ao acto reflexo inato que resulta na transferência do leite contido nos alvéolos e pequenos ductos para as cisternas (Bruckmaier 2017).

3.3.1. O reflexo da descida do leite

O arco reflexo neuroendócrino que opera a descida do leite, tem início em recetores nervosos sensitivos presentes na pele do úbere, em especial na região proximal do teto (Findlay 1966). Em resposta a estímulos tácteis, é desencadeado um potencial de ação, que é transportado pelas vias aferentes dos nervos mamários, para os nervos inguinais anterior e posterior. Este por sua vez atravessa o canal inguinal, para se juntar aos nervos lombares, que transportam o sinal aferente até à espinal medula e posteriormente ao cérebro (Bruckmaier and Blum 1998; Nickerson and Akers 2011).

No cérebro, o sinal atinge terminações nervosas colinérgicas que promovem a despolarização de neurónios dos núcleos supraóptico e paraventricular do hipotálamo. Estes núcleos são agregados de corpos celulares dos neurónios responsáveis pela síntese de ocitocina (Bruckmaier and Blum 1998).

A ocitocina é transportada pela via transaxonal e armazenada nas terminações nervosas dos neurónios magnocelulares, no lobo posterior da hipófise. A despolarização de neurónios dos núcleos paraventricular e supraóptico é responsável pela libertação da ocitocina para a circulação sanguínea (Crowley and Armstrong 1992; Bruckmaier and Blum 1998).

Na superfície membranar das células mioepiteliais, que envolvem os alvéolos e ductos de pequeno calibre, existem recetores com elevada afinidade para a ocitocina (Soloff 1982). A estimulação destes recetores, em resposta à elevação da concentração sanguínea, resulta na contração das células mioepiteliais, ocorrendo uma compressão generalizada dos alvéolos assim como um encurtamento e alargamento dos pequenos ductos lactíferos (Linzell 1955).

O aumento da pressão alveolar e o alargamento do lúmen dos ductos promove assim uma passagem forçada do leite alveolar para os ductos de maior calibre e posteriormente para o espaço cisternal (Linzell 1955; Bruckmaier and Blum 1998). Consequentemente ocorre um aumento da pressão no interior das cisternas até um valor máximo individual, com aumento da dimensão das cavidades (Bruckmaier et al. 1994).

3.3.2. Estimulação táctil do úbere e a libertação de ocitocina

A estimulação táctil dos tetos e do úbere é responsável pela libertação de ocitocina. Podendo ser resultado da sucção do vitelo, da ação das mãos do ordenhador, ou dos movimentos da tetina da unidade de ordenha (Bar-Pelled et al. 1995; Bruckmaier and Blum 1996; Weiss et al. 2003).

Em função do tipo e da intensidade da estimulação táctil a concentração sanguínea de ocitocina pode subir para valores entre os 10 e os 100 pg/ml (Bar-Pelled et al. 1995; Bruckmaier and Blum 1996).

No entanto, a ejeção do leite alveolar não depende da magnitude da libertação da ocitocina, sendo que esta ocorre assim que a concentração sanguínea atinge e se mantém acima de um limiar de 10 pg/ml (Schams et al. 1984; Bruckmaier et al. 1994). Consequentemente, a exigência de intensidade de estimulação capaz de promover a descida do leite é mínima. Sendo que qualquer tipo de interação táctil com o teto é capaz de desencadear suficiente libertação de ocitocina para provocar a descida do leite. (Bruckmaier and Blum 1996; Weiss et al. 2003; Weiss and Bruckmaier 2005; Wieland, Virkler, et al. 2020).

Independentemente do tipo e da intensidade do estímulo táctil, cerca de 30 segundos após a estimulação registam-se aumentos significativos na concentração sanguínea de ocitocina (Weiss and Bruckmaier 2005). Este período de latência não varia em função da fase de lactação, do número de ordenhas e do número de tetos estimulados (Bruckmaier and Hilger 2001; Weiss and Bruckmaier 2005).

A descida do leite em resposta à estimulação táctil do úbere não ocorre de forma instantânea. A velocidade de resposta da glândula mamária à estimulação depende da quantidade de leite armazenada no úbere, sendo que quanto maior o grau de preenchimento alveolar menor o tempo necessário para que ocorra transferência do leite contido neste compartimento para o compartimento cisternal (Bruckmaier and Hilger 2001).

A transferência do leite alveolar para a cisterna ocorre cerca de 40 segundos após o

primeiro contacto com o teto em úberes cheios, sendo que em úberes com pouco leite pode demorar até 150 segundos (Bruckmaier and Hilger 2001; Weiss and Bruckmaier 2005). A diferença no tempo necessário para a ocorrência da ejeção resulta, provavelmente da necessidade de um maior grau de contração mioepitelial, para remover o leite contido nos alvéolos com baixo preenchimento (Bruckmaier 2017).

3.3.3. Rotina pré-ordenha e a descida do leite

A rotina pré-ordenha compreende um conjunto de procedimentos, realizados antes da colocação das unidades de ordenha, que visam, de forma eficaz e eficiente, melhorar a qualidade geral do leite, promover a descida do leite e assegurar a saúde do úbere. Assim, é recomendada a inclusão de um procedimento higienização dos tetos (limpeza e desinfecção, com recurso a desinfetantes de eficácia comprovada) e de um procedimento de estimulação na rotina pré-ordenha (NMC 2013).

A estimulação na rotina de pré-ordenha tem como finalidade promover a libertação de ocitocina e iniciar a descida do leite antes da colocação da unidade de ordenha, de forma a que já esteja presente leite alveolar na cisterna e grandes ductos antes da remoção de toda a fração cisternal. (Sagi et al. 1980; Gorewit and Gassman 1985; Bruckmaier and Blum 1996; Weiss and Bruckmaier 2005; Watters et al. 2012).

Quando todo o leite armazenado no compartimento cisternal é removido antes da ejeção do leite alveolar ocorre um período de redução ou mesmo ausência transitória de fluxo de leite, que só é retomado após a descida do leite, sendo este fenómeno designado por ordenha bimodal (Bruckmaier and Blum 1996; Bruckmaier and Hilger 2001).

Em períodos de fluxo de leite reduzido ou ausente, existe uma subida do nível de vácuo na ponta do teto, agravando as forças de estiramento e compressão exercidas sobre o teto (Besier et al. 2016; Besier and Bruckmaier 2016). Ocorre também elevação do vácuo na câmara do bucal e conseqüente congestão dos tecidos do teto (Borkhus and Rønningen 2003; Penry et al. 2017). O colapso da parede do teto, promove uma maior penetração do teto no interior da máquina de ordenha, o que ocorrendo numa fase inicial pode comprometer o fluxo de leite no resto da ordenha (Bruckmaier and Blum 1998).

A ordenha bimodal pode ser resultado de estimulação inadequada antes da colocação da máquina de ordenha ou devido a um curto período de latência entre a estimulação e a colocação da máquina de ordenha (Bruckmaier and Blum 1996; Weiss and Bruckmaier 2005).

A estimulação apresenta-se como um elemento preponderante de uma rotina pré-ordenha, garantindo uma remoção mais rápida do leite e maximizando a quantidade de leite removida nos primeiros minutos de ordenha assegurando desta forma uma maior eficiência da ordenha (Sagi et al. 1980; Gorewit and Gassman 1985; Watters et al. 2012; Wieland, Virkler, et al. 2020). Sendo também importante para promover uma boa saúde dos tetos e úbere, minimizando a congestão da parede e ponta do teto (Wieland, Virkler, et al. 2020).

A estimulação pré-ordenha pode ser realizada através de diversos estímulos tácteis, não existindo requisitos específicos para o tipo ou intensidade da estimulação. Podendo estes ser manuais, como a ordenha manual dos primeiros jatos de leite e limpeza dos tetos com recurso a papel ou toalhas (Bruckmaier and Blum 1996; Wagner and Ruegg 2002; Watters et al. 2012), ou mecânicos, como o uso de escovas ou de um sistema de estimulação na unidade de ordenha (Weiss and Bruckmaier 2005; Watters et al. 2015). O estimulador recorre ao movimento da tetina, aplicando uma elevada frequência de pulsação (cerca de 300 pulsações por minuto) e vácuo reduzido na câmara de pulsação de forma a manter a tetina fechada exercendo pressão contínua no canal do teto impedindo a remoção de leite (Weiss and Bruckmaier 2005; Watters et al. 2015).

As recomendações atuais sugerem que para garantir uma adequada ejeção do leite e uma ordenha eficiente e gentil os tetos devem ser estimulados durante pelo menos 15 segundos com um período de latência de 90 a 120 segundos entre o início da estimulação e a colocação da unidade (Kaskous and Bruckmaier 2011; Watters et al. 2012; NMC 2013; Wieland, Virkler, et al. 2020).

3.3.4. A descida do leite durante a ordenha

O compartimento cisternal não tem capacidade para acomodar todo o leite alveolar. A ejeção do leite alveolar promovida pela preparação do úbere assegura que no momento da colocação da unidade de ordenha cerca de 50% do leite contido no úbere se encontra nas cisternas e grandes ductos. (Bruckmaier et al. 1994). Desta forma, para que ocorra a descida de todo o leite alveolar é necessária a remoção de leite do compartimento cisternal (Bruckmaier et al. 1994; Bruckmaier and Blum 1996).

O tempo de semi-vida plasmática da ocitocina é cerca de 2 a 3 minutos, com a cessação quase imediata da descida do leite após o final da estimulação táctil (Belo and Bruckmaier 2010). Como tal, para promover a transferência do restante leite alveolar é necessária a manutenção durante todo o período de ordenha de concentrações de ocitocina que garantam a continuidade da descida do leite. Isto é assegurado pelo movimento da tetina durante o ciclo de pulsação e permite a remoção de 90% do leite contido no úbere (Bruckmaier et al. 1994).

3.4. A máquina de ordenha

As tentativas de mecanização da ordenha tiveram início no princípio do século XIX, o copo de ordenha com duas câmaras evoluiu de um desenho patenteado em 1892, tendo o pulsador sido pela primeira vez patenteado em 1895 (Mein and Reinemann 2015). A adoção da ordenha mecânica foi um processo gradual - em 1954 menos de 50% das explorações nos Estados Unidos da América recorriam a ordenha mecânica (Thompson 1981).

Os sistemas de ordenha atuais removem o leite aplicando pressão negativa ao teto. Independentemente do responsável pela produção, todos os sistemas de ordenha apresentam os seguintes componentes: um sistema de produção e controlo de vácuo; um sistema de pulsação; uma ou mais unidades de ordenha; um sistema de transporte do leite da unidade de ordenha para o tanque de armazenamento; equipamento de limpeza e desinfeção da máquina de ordenha após cada sessão de trabalho (Holmes et al. 2013).

3.4.1 Produção de vácuo

A bomba de vácuo é um compressor de ar, que cria uma pressão negativa (vácuo parcial) no sistema de ordenha através da contínua remoção de ar do mesmo. O vácuo gerado fornece a energia para mover ar, leite e solução de limpeza através do sistema de ordenha (Holmes et al. 2013).

A capacidade de uma bomba de vácuo de um sistema é aferida pela quantidade de ar (em litros por minuto) que consegue extrair a um vácuo de 50 kPa, devendo ser dimensionada de forma a garantir a estabilidade no vácuo no sistema de ordenha, face à admissão de ar resultante do normal funcionamento do mesmo e a entradas de ar inesperadas (Edmonson and Blowey 2010; Ohnstad 2011).

Designa-se por reserva efetiva de vácuo, a quantidade de ar admitida pelo sistema capaz de provocar uma descida de vácuo de 2 kPa no vácuo do sistema no jarro recetor, com as unidades tapadas e o sistema de regulação funcional (ISO 2007). De acordo com os Standards ISO 5707:2007, a reserva efetiva mínima de um sistema de ordenha deve ser calculada pela seguinte fórmula: $500 \text{ l/min} + 10(n-10)$, em que n representa o número de unidades de ordenha.

A bomba de vácuo está ligada à linha de vácuo principal, um tubo de policloreto de vinila que conduz o vácuo gerado pela primeira ao resto do sistema (Holmes et al. 2013).

3.4.2 Regulação do vácuo

Para garantir uma ordenha uniforme é necessário que o vácuo do sistema se mantenha estável. Para que o vácuo parcial do sistema se mantenha estável, após atingir o nível pré-determinado, a quantidade de ar admitida pelo sistema deve igualar o ar que é continuamente removido pela bomba de vácuo (Ohnstad 2011). Num sistema de ordenha eficientemente regulado o vácuo médio, medido no jarro recetor, não deve variar mais que 2 kPa do nível pretendido (ISO 2007).

Os sistemas de controlo de vácuo mais frequentes garantem a estabilidade do mesmo ajustando a quantidade de ar admitida pelo sistema, de forma a compensar a quantidade de ar extraída pela bomba, através de uma válvula automática designada regulador. Assim, quando existe mais ar a ser removido que admitido (provocando uma subida no vácuo) a

válvula abre admitindo mais ar para o sistema. O inverso ocorre quando existe mais ar a ser admitido para o sistema que ar a ser removido, o regulador fecha, de forma a contrariar a descida no nível de vácuo (Edmonson and Blowey 2010; Ohnstad 2011; Holmes et al. 2013).

O método mais recente de regulação do nível de vácuo no sistema de ordenha é o uso de uma drive de frequência variável. Este sistema mede o vácuo e controla a velocidade do motor da bomba de vácuo, adequando-a às necessidades de extração de ar variáveis do sistema. O uso deste mecanismo de controlo de vácuo reduz substancialmente as necessidades energéticas dos sistemas de ordenha de regulação tradicional, nos quais a bomba trabalha com uma velocidade constante (Holmes et al. 2013).

3.4.3 Tanque de distribuição e vaso intercetor

Estas duas estruturas podem ser encontradas em separado ou combinadas em sistemas de ordenha. O vaso intercetor é colocado na linha principal de vácuo próximo à bomba com o propósito de prevenir a entrada de detritos ou líquidos (leite, água de lavagem) para a bomba de vácuo, evitando possíveis danos na mesma. Apresenta na sua base uma válvula de drenagem que permite o seu esvaziamento no período entre ordenhas (Edmonson and Blowey 2010).

O tanque de distribuição atua como reservatório de vácuo e peça de ligação entre a bomba de vácuo e o resto do sistema, alimentando as necessidades de vácuo da linha de pulsação e das unidades de ordenha (Holmes et al. 2013).

3.4.4 Sistema de transporte do leite

Este segmento do sistema de ordenha recebe o leite da unidade de ordenha sob vácuo e transporta o mesmo para o tanque de armazenamento à pressão atmosférica. É composto pela armadilha sanitária, pelo vaso recetor, pela bomba do leite, pela linha de transferência do leite e pelos vasos de medição, caso existam (Holmes et al. 2013).

3.4.4.1 Armadilha sanitária

A armadilha sanitária marca a separação entre a linha sanitária do sistema, que transporta leite e soluções de limpeza, e as linhas não sanitárias, que transportam apenas ar. Tem como função impedir a entrada de leite e soluções de limpeza nas tubagens não sanitárias. A armadilha sanitária consiste assim num reservatório, feito de vidro ou aço inoxidável, que apresenta uma válvula de encerramento operada por uma bola flutuante. Em caso de falha da bomba do leite e acumulação excessiva de leite na armadilha, esta corta o fornecimento de vácuo às unidades de ordenha (Edmonson and Blowey 2010; Holmes et al. 2013).

3.4.4.2 Vaso recetor e bomba do leite

O vaso recetor é um recipiente, feito de vidro ou de aço inoxidável, para o qual drenam as linhas de transferência de leite existentes no sistema de ordenha. Neste vaso existe uma sonda que quando o leite acumulado atinge um nível pré-determinado aciona a bomba do leite, ligada à base do recetor. Esta bomba de pressão positiva transporta o leite presente no recetor sob vácuo, através de uma válvula de retenção, de um filtro e do sistema de arrefecimento, para o tanque de armazenamento à pressão atmosférica (Edmonson and Blowey 2010; Holmes et al. 2013).

3.4.4.3 Linha de transferência do leite

Esta linha sanitária corresponde a um tubo de aço inoxidável, que recebe o leite, proveniente dos tubos longos do leite das unidades de ordenha ou do jarro medidor, e os transporta por gravidade para o jarro recetor (Edmonson and Blowey 2010; Holmes et al. 2013).

Uma importante diferenciação entre sistemas de ordenha assenta na posição relativa da linha do leite em relação à vaca. Designam-se sistemas de linha baixa, aqueles em que a linha de transferência do leite se encontra num nível inferior em relação à vaca presente no ponto de ordenha e sistemas de linha alta, aqueles que esta é instalada num nível superior ao dos animais a ser ordenhados (Edmonson and Blowey 2010; Holmes et al. 2013).

3.4.5 Unidade de ordenha

Este componente da máquina de ordenha tem como função remover o leite contido no úbere. É composta por um coletor, quatro copos de ordenha, quatro tubos curtos de pulsação, um tubo longo de leite, um tubo longo de pulsação e um pulsador (Holmes et al. 2013).

O copo de ordenha é composto por um invólucro rígido exterior que contém no seu interior uma membrana flexível, designada tetina. A tetina pode ser dividida em três componentes principais: o bocal, que corresponde à abertura onde o teto entra no momento da ordenha, o corpo da tetina, porção intermédia da tetina, que se encontra dentro do invólucro externo e o tubo curto de leite, que transporta o leite para o coletor. O espaço anular existente entre a tetina e o invólucro externo designa-se câmara de pulsação. Esta está ligada ao sistema de pulsação através do tubo curto de pulsação (Holmes et al. 2013).

O coletor é um recipiente, que recebe o leite proveniente dos quatro tubos curtos de leite da unidade e o conduz para o tubo longo. Este por sua vez transporta o leite para linha de transferência do leite. O coletor faz também a ligação entre os tubos curtos das câmaras de pulsação e os tubos longos do pulsador da respetiva unidade (Edmonson and Blowey

2010).

3.4.6 Sistema de pulsação

O sistema de pulsação é constituído pela linha de vácuo de pulsação, que deriva da linha de vácuo principal, pelos pulsadores, existindo um por unidade de ordenha, e pelos tubos de pulsação, que ligam as câmaras de pulsação dos quatro copos de ordenha ao respetivo pulsador (Holmes et al. 2013).

O pulsador é uma válvula de ar que introduz, de forma cíclica e alternada, ar sob vácuo e ar à pressão atmosférica nas câmaras de pulsação da respetiva unidade de ordenha. Quando a câmara de pulsação se encontra à pressão atmosférica, a diferença de pressão entre o interior da tetina (sob vácuo de ordenha) e a câmara de pulsação promove o colapso da tetina. Inversamente, quando a câmara de pulsação se encontra sob vácuo sua pressão iguala-se à pressão no interior da tetina, promovendo o retorno da tetina à sua forma original (aberta). Esta abertura e encerramento cíclico da tetina é designada por pulsação (Mein and Reinemann 2015).

Um ciclo de pulsação é definido como uma sequência de movimento completa da tetina, dividindo-se em quatro fases. A fase a, que corresponde ao período em que o vácuo na câmara de pulsação se eleva de 4 kPa para o valor máximo menos 4 kPa; a fase b ou aberta, na qual o vácuo apresenta um valor superior ao máximo menos 4kPa; a fase c, em que o vácuo decresce do valor máximo de vácuo menos 4 kPa para um valor entre 4kPa e 0; e finalmente a fase d, na qual o vácuo na câmara de pulsação é inferior a 4 kPa (ISO 2007).

A pulsação de um sistema de ordenha é caracterizada pela frequência e pelo rácio de pulsação. A frequência de pulsação corresponde ao número de ciclos de pulsação por minuto. O rácio de pulsação representa a relação entre a fase de ordenha (a+b) e a fase de massagem (c+d) do ciclo de pulsação, sendo representado pela fórmula $(a+b):(c+d)$. Os sistemas de ordenha operam comumente com uma frequência de pulsação de 60 ciclos por minuto e com rácios de pulsação de 60:40 a 70:30 (Edmonson and Blowey 2010; Mein and Reinemann 2015).

Os pulsadores podem operar em simultâneo, com as quatro câmaras de pulsação sob vácuo ou à pressão atmosférica ou de forma alternada, na qual metade das câmaras estão sob vácuo enquanto as restantes estão à pressão atmosférica. A maioria dos sistemas instalados atualmente operam com pulsação alternada (Holmes et al. 2013).

3.4.7 Retirador automático

Os retiradores automáticos têm como função remover a unidade no final da ordenha, sem intervenção do ordenhador. Os retiradores automáticos são calibrados de forma cortar o fornecimento de vácuo ao coletor da unidade de ordenha quando o fluxo de leite atinge um

valor limiar. Após o corte no fornecimento de vácuo a unidade de ordenha é recolhida por uma corrente (Holmes et al. 2013).

3.5. A ordenha mecânica

Os principais objetivos da ordenha mecânica são remover o leite disponível de forma rápida e completa, sem quedas ou deslizamentos da unidade de ordenha, com o mínimo desconforto para a vaca e com o menor comprometimento da saúde dos tetos.

3.5.1. O fluxo de leite durante a ordenha

Durante a ordenha, podem distinguir-se quatro diferentes fases de intensidade do fluxo de leite, quer a nível do úbere como um todo, quer individualmente a nível dos quartos (Tančin et al. 2006; Sandrucci et al. 2007).

Após a colocação da unidade de ordenha, existe um breve período designado fase inclinada, no qual o fluxo de leite aumenta até um valor máximo individual (Tančin et al. 2006; Mein and Reinemann 2015). A duração desta fase está relacionada com a preparação pré-ordenha do úbere, sendo que estimulação inadequada e colocação precoce das unidades de ordenha estão associadas a um prolongamento da fase inclinada. (Sandrucci et al. 2007).

A fase de pico de fluxo, quer a nível dos quartos quer a nível do úbere, corresponde a uma fase de fluxo de leite relativamente constante (Tančin et al. 2006; Mein and Reinemann 2015). É neste período da ordenha que é removida a maior quantidade de leite, sendo geralmente a mais longa das quatro fases da ordenha. O pico de fluxo de leite do úbere ocorre quando todos os quartos se encontram nesta fase (Tančin et al. 2006). A velocidade do fluxo de leite durante este período é determinada pelas dimensões físicas do canal do teto (Weiss et al. 2004), pela diferença de pressão através do canal do teto, pelas características da pulsação e pela compressão exercida pela tetina (Bade et al. 2009).

Após a fase de pico de fluxo, segue-se um período de fluxo de leite decrescente, a fase declinada (Tančin et al. 2006). O início desta fase difere quando se avalia o fluxo de leite dos quartos mamários ou do úbere como um todo, sendo que no úbere tem início quando um ou mais quartos acabam de ser ordenhados de forma gradual, ou quando existe um declínio contínuo no fluxo dos diferentes quartos (Mačuhová et al. 2003). Em contraste, o início da fase declinada nos quartos individuais ocorre quando a pressão intramamária se iguala à pressão atmosférica. As veias próximas da superfície mucosa da cisterna do úbere e da base do teto, que colapsam devido ao aumento da pressão intramamária após a descida do leite, dilatam e retornam à sua forma original (Mein and Reinemann 2015). A dilatação destes vasos, assim como o aumento da espessura da parede da cisterna da glândula e da base do teto, promovem a oclusão da comunicação entre a cisterna do teto e a cisterna da glândula. Estas alterações marcam o fim do período de pico de fluxo (Mein, Thiel, and Akam 1973; Mein

and Reinemann 2015).

Diferentes autores propõem diferentes definições para o período de sobreordenação. Num estudo realizado nos Países Baixos consideram que o úbere se encontra em sobreordenação quando o fluxo de leite cai abaixo de 300 gramas por minuto, e nos quartos individuais quando o fluxo cai abaixo de 75 gramas por minuto (Tančin et al. 2006). Outro autor considera que a sobreordenação ao nível do teto ocorre quando o leite é removido a partir da cisterna do teto para o copo de ordenha a uma velocidade superior à qual é repostado pela cisterna da glândula mamária. Com esta situação a verificar-se nos tetos anteriores a um fluxo de 400 gramas por minuto e nos tetos posteriores a um fluxo de 200 gramas por minuto (Rasmussen 2004).

Durante o período de sobreordenação ocorre uma queda na pressão intramamária para valores correspondentes a 90% do vácuo de ordenha (Rasmussen et al. 1994), observando-se também uma elevação do vácuo e aumento das variações cíclicas na câmara do bucal (Borkhus and Rønningen 2003). As alterações congestivas dos tecidos do teto ocorrem ao longo de todo o processo de ordenha, no entanto é na fase de sobreordenação que ocorrem com maior intensidade, devido ao aumento do vácuo no coletor e à elevação do vácuo na câmara do bucal (Mein and Reinemann 2015; Penry et al. 2017).

3.5.2. Biomecânica da ordenha

3.5.2.1. Movimento do teto na tetina durante a ordenha

O copo de ordenha é o único componente da máquina de ordenha que entra em contacto com o teto, pelo que é através dele que todas as forças que atuam sobre o teto são transmitidas. Quando os copos de ordenha são aplicados a uma vaca no início da ordenha o teto penetra para o interior da tetina, estando sujeito à força do vácuo de ordenha, que puxa o teto para o interior da tetina e à força da gravidade que atua no sentido de remover a unidade de ordenha do teto (Mein, Thiel, and Akam 1973).

A diferença de pressão entre a cisterna do teto e o interior da tetina sob vácuo de ordenha promove a expansão radial e longitudinal do teto, até aos seus limites de elasticidade, com conseqüente aumento do seu diâmetro e do seu comprimento (Mein and Reinemann 2015). A expansão radial do teto é limitada pela parede da tetina contra a qual a parede do teto fica pressionada, formando um selo entre o teto e o corpo da tetina. As forças de atrito, que se desenvolvem entre a parede do teto e a tetina, são responsáveis por manter a posição do teto até ao fim do período de pico de fluxo de leite, equilibrando as forças de sentido inverso que atuam sobre ele (Mein, Thiel, Westgarth, et al. 1973).

A pressão na cisterna do teto cai abruptamente após o período de pico de fluxo de leite, uma vez que o leite é removido desta estrutura a uma velocidade superior à que é repostado a partir da cisterna da glândula mamária, devido à oclusão da comunicação entre

estes dois compartimentos (Mein, Thiel, and Akam 1973). A diminuição da pressão na cisterna do teto resulta no seu colapso parcial, com diminuição da força horizontal exercida pela parede do teto contra a superfície da tetina e consequente redução das forças de atrito existentes entre a tetina e o teto (Mein, Thiel, Westgarth, et al. 1973). A quebra do selo entre o corpo da tetina e o teto promove a penetração da base do teto na câmara do bucal, com consequente subida da unidade de ordenha e transferências das forças de atrito para esta região até ao final da ordenha (Mein, Thiel, Westgarth, et al. 1973; Mein, Thiel, and Akam 1973).

3.5.1.2 O teto na fase aberta do ciclo de pulsação

Quando as pressões na câmara de pulsação e no interior da tetina se igualam a tetina encontra-se na fase aberta. A diferença de pressão gerada pelo vácuo de ordenha promove, à semelhança do que acontece nos restantes tecidos do teto, a expansão longitudinal e radial da ponta do teto, com consequente aumento da tensão nos tecidos que envolvem o canal do teto (Mein and Reinemann 2015).

O canal do teto desdobra-se e abre quando as forças geradas pelo vácuo se sobrepõem às forças naturais que promovem o seu encerramento, sendo que um vácuo de 17 kPa é suficiente para vencer a resistência do esfíncter do teto (Weiss et al. 2004).

O leite flui através do canal do teto aberto, a favor do gradiente de pressão gerado pela bomba de vácuo, entre a cisterna do teto e o tubo curto do leite da tetina (Mein and Reinemann 2015). O fluxo de leite tem início quando a tetina se encontra a meio da fase de abertura, e termina quando se encontra a meio do seu colapso (Ardran et al. 1958). Durante e imediatamente após a abertura da tetina, existe um rápido aumento do fluxo de leite (Thiel et al. 1966; Williams et al. 1981), sendo seguido de um breve período de cerca de 0.5 segundos de fluxo máximo relativamente constante. Os 500 milissegundos seguintes são marcados por uma queda de 60% no fluxo de leite, que se tende a tornar mais gradual. A queda no fluxo de leite ao longo da fase b é resultado da congestão e edema dos tecidos da ponta do teto, que obliteram o canal do teto (Williams et al. 1981).

A ISO recomenda que a fase b tenha uma duração mínima de 35% do ciclo de pulsação para uma ordenha rápida e completa (ISO 2007), no entanto o padrão da indústria é que esta deve corresponder a pelo menos 45% do ciclo de pulsação (Mein and Reinemann 2015).

3.5.1.3 O teto na fase fechada do ciclo de pulsação

O principal objetivo da fase d do ciclo de pulsação é limitar o desenvolvimento de congestão e edema no teto durante a ordenha mecânica (Mein and Reinemann 2015). Quando é admitido ar à pressão atmosférica na câmara de pulsação do copo de ordenha, a diferença de pressão através da parede da tetina resulta no seu colapso (Ardran et al. 1958).

Ao colapsar, a tetina montada sob tensão dobra-se em torno do teto, com a formação de um pequeno espaço ocupado por ar sob vácuo entre a ponta do teto e o ponto em que as paredes da tetina se tocam, exercendo uma compressão localizada na ponta do teto. A diferença de pressão através da parede da tetina que circunda este espaço aéreo é a origem da força compressiva exercida pela mesma. A compressão é transmitida à ponta do teto pela porção da parede da tetina que se dobra em torno desta estrutura (Mein et al. 1987).

A compressão exercida pela tetina colapsada é assim definida como a pressão média (medida em kPa ou mmHg) exercida sobre os tecidos da ponta do teto durante a fase d da pulsação (Mein and Reinemann 2009), sendo responsável pelo encerramento do teto e consequente interrupção do fluxo de leite durante a fase c, assim como pelo alívio da congestão e edema nos tecidos da ponta do teto (Mein et al. 1987).

A magnitude e a duração da compressão exercida pela tetina têm um profundo impacto no fluxo de leite na fase b do ciclo de pulsação seguinte, permitindo atingir um maior e mais persistente pico de fluxo após a abertura da tetina (Williams et al. 1981).

A duração da fase d da pulsação determina a duração da compressão realizada pela tetina, sendo que a International Organization for Standardization recomenda uma duração mínima da fase d de 150ms para assegurar uma ordenha completa, suave e rápida (ISO 2007). Estas recomendações foram recentemente validadas por um estudo científico, que determinou que acima dos 150ms na fase d não existiam reduções significativas no grau de congestão dos tecidos da ponta do teto (Upton et al. 2016).

A magnitude da pressão compressiva exercida pela tetina é proporcional à diferença de pressão entre a câmara de pulsação e a tetina, determinada pelo nível de vácuo (Mein and Reinemann 2009) e à tensão de montagem da tetina (Mein et al. 1987), variando também em função das características físicas da tetina (forma da secção transversal, espessura da parede) e do teto (forma da ponta do teto, comprimento) (Mein and Reinemann 2015). O grau de compressão adequado para reverter a congestão e edema do teto aumenta com a duração da fase b da pulsação e com o nível de vácuo do sistema (Bade et al. 2009).

3.5.3 O vácuo durante a ordenha

O vácuo é gerado pela bomba de vácuo, e controlado pelo regulador, sendo conduzido até às unidades de ordenha pelas tubagens do sistema. Designa-se por vácuo de trabalho do sistema o valor de vácuo medido na armadilha sanitária. A maioria dos sistemas opera com um nível de vácuo entre 40 e 50 kPa, com os sistemas de linha baixa a operar próximo do limite inferior ao contrário dos sistemas de linha alta que operam com níveis de vácuo mais elevados (Ohnstad 2011).

O vácuo no interior da tetina, sob o teto, é responsável pela remoção do leite (Besier et al. 2016). O vácuo medido no coletor, constitui a forma mais direta de avaliar o vácuo na

ponta do teto durante a ordenha, e conseqüentemente os seus efeitos no animal (NMC 2012).

Durante a ordenha mecânica ocorrem regularmente flutuações e quedas do vácuo ao nível do teto, em resultado de várias interações entre o fornecimento de vácuo, o movimento da tetina e o fluxo de leite (Besier et al. 2016).

Assim que tem início o fluxo de leite regista-se uma queda no vácuo no coletor em relação ao vácuo no sistema (Ambord and Bruckmaier 2010; Besier and Bruckmaier 2016), uma vez que o leite se comporta como um fluido oferecendo maior resistência que o ar ao ser transportado através das tubagens da unidade de ordenha. Esta quebra no vácuo é inevitável nos atuais sistemas de ordenha, pois os tubos que fornecem o vácuo à unidade de ordenha são também responsáveis pelo transporte do leite a partir desta (Besier and Bruckmaier 2016). A magnitude da queda do vácuo no coletor é proporcional ao fluxo de leite e é mais pronunciada em sistemas de linha alta, uma vez que o leite é transportado contra a gravidade (Ambord and Bruckmaier 2010).

O NMC e a ISO indicam que para uma ordenha rápida, completa e suave o vácuo medido no coletor se deve encontrar entre 32 e 42 kPa, durante o período de pico de fluxo (ISO 2007; NMC 2012). Assim, deve ajustar-se o vácuo de trabalho do sistema de ordenha para fazer face à quebra de vácuo esperada em resultado do fluxo de leite. Uma queda dos valores de vácuo no coletor abaixo dos limites estabelecidos pelo National Mastitis Council vai resultar num prolongamento do tempo de ordenha (Besier and Bruckmaier 2016) e no aumento do risco de deslizamento das tetinas. No final da ordenha, devido à redução do fluxo de leite, o vácuo no coletor sobe, igualando-se ao vácuo de trabalho do sistema, expondo os tetos a elevados níveis de vácuo (Ambord and Bruckmaier 2010; Besier and Bruckmaier 2016).

Durante a ordenha existem oscilações no nível de vácuo no coletor, distinguindo-se dois tipos distintos, as flutuações cíclicas e as flutuações irregulares de vácuo (Besier et al. 2016). As flutuações cíclicas de vácuo ocorrem em intervalos regulares durante todo o processo de ordenha e são resultado dos movimentos da tetina durante o ciclo de pulsação. A abertura da tetina durante a fase a resulta num abrupto aumento do volume interno da tetina com conseqüente subida do vácuo no coletor. Já o colapso da tetina representa uma súbita redução do volume no interior da mesma, que por sua vez provoca uma queda transitória no nível de vácuo no coletor. As flutuações cíclicas de vácuo são amplificadas pelo fluxo de leite para o coletor, especialmente em animais que apresentam elevados fluxos de leite (Thiel et al. 1964; Thiel et al. 1973).

3.6.4. A ordenha mecânica e a saúde do teto

Uma ordenha suave tem como objetivo a manutenção da saúde e integridade da pele do teto, minimizar a congestão dos tecidos do teto e a hiperqueratose da ponta do teto e

assegurar um balanço ótimo da queratina no interior do canal do teto (Mein 2012).

As alterações na condição do teto resultantes de fatores não infecciosos podem ser resultado de uma ordenha mecânica inadequada e classificam-se em alterações de curto, médio e longo prazo (Mein et al. 2001).

3.6.4.1 Alterações de curto prazo na condição do teto

As alterações de curto prazo surgem como resposta imediata à ordenha, devendo ser avaliadas num espaço de 30 a 60 segundos após a remoção da unidade de ordenha (Mein et al. 2001). São resultado das alterações circulatórias induzidas pelo vácuo nos tecidos do teto, que provocam acumulação de fluídos na circulação venosa (congestão) e nos espaço intersticial (edema) (Hamann and Mein 1988; Hamann and Mein 1990).

Na escala visual proposta pelo Teat Club International correspondem a alterações de curto prazo na condição do teto alterações na cor do teto, alterações na consistência da ponta do teto, a presença de marcas na base do teto e o grau de abertura do canal do teto, que pode ser classificado como fechado (abertura inferior a 2mm) ou aberto (abertura igual ou superior a 2mm) (Eric Hillerton et al. 2000; Mein et al. 2001; Hillerton et al. 2002).

A presença deste tipo de alterações está associada a sobreordenha (Hillerton et al. 2002), vácuo elevado na câmara do bucal (Penry et al. 2017) devido à utilização de tetinas de calibre elevado, nível de vácuo do sistema elevado (Hamann et al. 1993), pulsação inadequada (Hamann and Mein 1996; Upton et al. 2016) e estimulação insuficiente na rotina de pré-ordenha (Wieland, Virkler, et al. 2020).

As alterações de curto prazo da condição do teto atrasam o encerramento do canal do teto após a ordenha, aumentando a suscetibilidade deste a colonização microbiana (Zecconi et al. 1992) e aumentando a probabilidade de infeção intramamária (Zecconi et al. 1996).

3.6.4.2. Alterações de médio prazo na condição do teto

As alterações de médio prazo são a resposta do teto a agressões ambientais que se manifestam em dias a semanas após as mesmas. A presença de lesões vasculares no teto, como hemorragias petequiais ou hemorragias mais extensas são as alterações de médio prazo frequentemente associadas a ordenha inadequada. Estas lesões podem ser resultado de uma ordenha em que se verifique um tempo prolongado de sobreordenha, nível de vácuo excessivamente elevado ou ausência de pulsação (Mein et al. 2001).

3.6.4.3. Alterações de longo prazo na condição do teto

A hiperqueratose da ponta do teto constitui a principal alteração de longo prazo do teto em resposta a fatores ambientais (Mein et al. 2001). A hiperqueratose da ponta do teto

corresponde do ponto de vista microscópico à proliferação do estrato córneo da epiderme nesta região, que se reflete macroscopicamente na formação de tecido caloso (Neijenhuis et al. 2001).

Estas alterações são resultado das forças mecânicas exercidas pelo vácuo e pelo colapso da tetina durante a ordenha. A formação de um anel caloso suave constitui uma resposta fisiológica de adaptação à ordenha, sendo também encontrado em animais ordenhados manualmente e em vacas aleitantes (Shearn and Hillerton 1996; Neijenhuis et al. 2001). No entanto a progressão da hiperqueratose da ponta do teto de um anel caloso liso para uma estrutura rugosa espessa e irregular não faz parte de um processo natural (Shearn and Hillerton 1996; Neijenhuis et al. 2000).

O Teat Club International propôs um sistema de classificação simples para avaliação do grau de hiperqueratose da ponta do teto com 4 níveis distintos: ausência de anel caloso (grau 1); presença de um anel caloso liso ou com ligeiras irregularidades que não se projetam para além do anel (grau 2); presença de um anel irregular com fragmentos de queratina que se projetam 1-3mm para além do anel (grau 3); presença de um anel irregular com fissuras na sua superfície e fragmentos de queratina que se projetam 4mm para além do anel (grau 4). Este sistema de classificação considera os graus 3 e 4 alterações patológicas (Mein et al. 2001).

A evolução patológica da hiperqueratose ocorre ao longo da lactação, verificando-se que as alterações ocorrem em média aos 56 dias em leite, sendo mais prevalentes em múltiparas, e em tetos compridos, arredondados ou pontiagudos (Neijenhuis et al. 2000). O grau de compressão exercido pela tetina durante a fase d, o tempo total de ordenha e o tempo de sobreordenha apresentam uma associação positiva com o aparecimento de graus patológicos de hiperqueratose (Neijenhuis et al. 2000; Zucali et al. 2008; Edwards et al. 2013).

A presença de graus patológicos de hiperqueratose está associado ao desenvolvimento de mastite clínica. As superfícies irregulares na ponta dos tetos hiperqueratóticos dificultam a sua limpeza e desinfeção eficaz durante a rotina de ordenha permitindo o alojamento de agentes causadores de mastite. Adicionalmente, a presença de espessos anéis de hiperqueratose prejudica o encerramento do canal do teto após o final da ordenha (Neijenhuis et al. 2001).

4. Objetivos

O presente estudo tem entre os seus objetivos realizar um levantamento acerca da eficiência do processo de ordenha e das práticas de estimulação implementadas nas rotinas de ordenha num conjunto de explorações portuguesas e determinar a prevalência de lesões de curto e longo prazo nos tetos, sobreordenha e ordenha bimodal nessas vacarias.

Para além desse levantamento este trabalho tem também como propósito identificar fatores de risco quer ao nível da ordenha individual, quer ao nível da exploração que possam determinar a ocorrência de bimodalidade da ordenha e de sobreordenha, a fim de encontrar soluções corretivas.

Por fim, procura-se também com esta investigação identificar qual o impacto que estes fenómenos têm no fluxo médio de leite e na produção leiteira dos animais incluídos no universo das explorações leiteiras avaliadas.

5. Material e métodos

O presente estudo observacional transversal foi realizado em 21 explorações leiteiras de Portugal continental, distribuídas pelos distritos de Portalegre, Beja, Évora, Santarém e Setúbal, tendo a recolha de dados sido realizada de março a julho de 2020.

5.1 Desenho experimental

5.1.1 Caracterização das explorações leiteiras

Todas as explorações incluídas neste estudo ordenham com recurso a um sistema de ordenha mecânica convencional, tendo sido este o único critério para inclusão das explorações no estudo, tendo sido englobadas, por conveniência, no estudo explorações que realizam duas ou três ordenhas.

As explorações leiteiras têm as vacas alojadas em sistemas de estabulação livre (cama livre ou cubículo) e são alimentadas com formulações que estão de acordo ou excedem os requisitos nutricionais estabelecidos pelo National Research Council em 2001.

5.1.2 Recolha de dados

Cada exploração foi visitada uma vez durante o decorrer do estudo, num período de ordenha da tarde.

No decorrer da ordenha foi recolhida informação relativa à sala de ordenha, aos protocolos de ordenha, à saúde dos tetos e foi realizada uma avaliação dinâmica do vácuo em múltiplos pontos de ordenha e cronometragem da rotina de ordenha dos animais avaliados.

Após o período de ordenha, com recurso às informações do contraste de leiteiro ou do sistema informático de gestão de efetivo implementado na exploração foram recolhidas informações referentes ao número de lactação e ao número de dias em leite dos animais ordenhados nos pontos de ordenha sujeitos a avaliação dinâmica de vácuo. Nos sistemas de ordenha que dispunham de retiradores automáticos registou-se o valor do fluxo de retirada.

5.1.2.1 Avaliação e cronometragem do protocolo de ordenha

Em cada exploração, o protocolo de ordenha foi registado numa folha de campo antes do início da ordenha, tendo sido identificados os procedimentos de estimulação da rotina de ordenha. O critério utilizado foi que qualquer procedimento que envolvesse contacto físico com o teto seria suscetível de promover estimulação necessária para a libertação de ocitocina, tendo sido incluídos os procedimentos de remoção dos primeiros jatos, limpeza com recurso a pano ou papel, e limpeza com recurso a escovas mecânicas (Bruckmaier and Blum 1996; Weiss and Bruckmaier 2005; Moore-Foster et al. 2019a).

Durante a rotina de ordenha o avaliador, com recurso à aplicação de cronómetro de telemóvel, cronometrou o tempo empregue pelos ordenhadores em cada procedimento da rotina de ordenha e o intervalo de tempo decorrido entre cada procedimento nos animais ordenhados no ponto de ordenha sujeito a avaliação dinâmica do vácuo.

Com base na cronometragem determinou-se o tempo total empregue na estimulação dos tetos, a partir da soma do tempo despendido nos diferentes procedimentos de estimulação. Avaliou-se também o tempo de latência entre o início da estimulação e a colocação da unidade de ordenha, somando o tempo empregue nos diferentes procedimentos desde a primeira estimulação (inclusive) até à colocação com o tempo decorrido entre os procedimentos.

5.1.2.2 Avaliação dinâmica do vácuo

O vácuo da ordenha foi avaliado com recurso a um dispositivo designado VaDia® (Biocontrol, Rakkestad, Noruega). Este consiste num dispositivo de registo digital de vácuo portátil. O VaDia apresenta quatro canais de registo de vácuo, que permitem avaliar de forma dinâmica o vácuo em quatro pontos distintos de uma unidade de ordenha.

Com recurso a um tubo de silicone de 2.4 mm de diâmetro interno os quatro canais de vácuo foram ligados aos seguintes pontos de uma unidade de ordenha:

- 1 Ao tubo curto de pulsação do copo de ordenha de um dos quartos posteriores, de forma a avaliar a pulsação;
- 2 Ao bocal de uma tetina de um quarto posterior, com vista a avaliar o vácuo na câmara do bocal;
- 3 Ao bocal de uma tetina de um quarto anterior, de forma a avaliar o vácuo na câmara do bocal;
- 4 Ao tubo curto de leite de uma tetina de um quarto posterior, para avaliar o vácuo no coletor;

O registo do vácuo de ordenha de cada vaca, ordenhada nos pontos nos quais os VaDia foram montados, foi realizado de forma contínua desde que as unidades foram colocadas até serem removidas de forma automática ou manual pelos ordenhadores.

Todos os registos de vácuo foram transferidos para um computador e analisados com recurso ao software VaDia Suite® (Biocontrol, Rakkestad, Noruega), tendo sido todos avaliados pelo mesmo operador.

A interpretação do registo gráfico do vácuo na câmara do bocal permite fazer inferências em relação ao fluxo de leite, uma vez que a elevação e o aumento das variações cíclicas do vácuo na câmara do bocal estão associados a baixo fluxo de leite e a congestão do teto (Borkhus and Rønningen 2003; Penry et al. 2017). O registo gráfico do vácuo no coletor pode também ser utilizado como forma de avaliação indireta do fluxo de leite, visto que o nível de vácuo no coletor é inverso do fluxo de leite (Besier and Bruckmaier 2016) e que as variações cíclicas de vácuo são atenuadas na ausência de fluxo de leite (Thiel et al. 1973; Besier et al. 2016). Estes mesmos princípios foram aplicados num estudo observacional que implicou 64 explorações no Michigan (Moore-Foster et al. 2019b; Moore-Foster et al. 2019c).

Com recurso à análise do registo gráfico do vácuo de ordenha no software VaDia suite, foram identificados no presente estudo quatro momentos do fluxo de leite durante a ordenha: o início da ordenha, o início do período de pico de fluxo, o início da sobreordenha e o fim da ordenha (Figura 1).

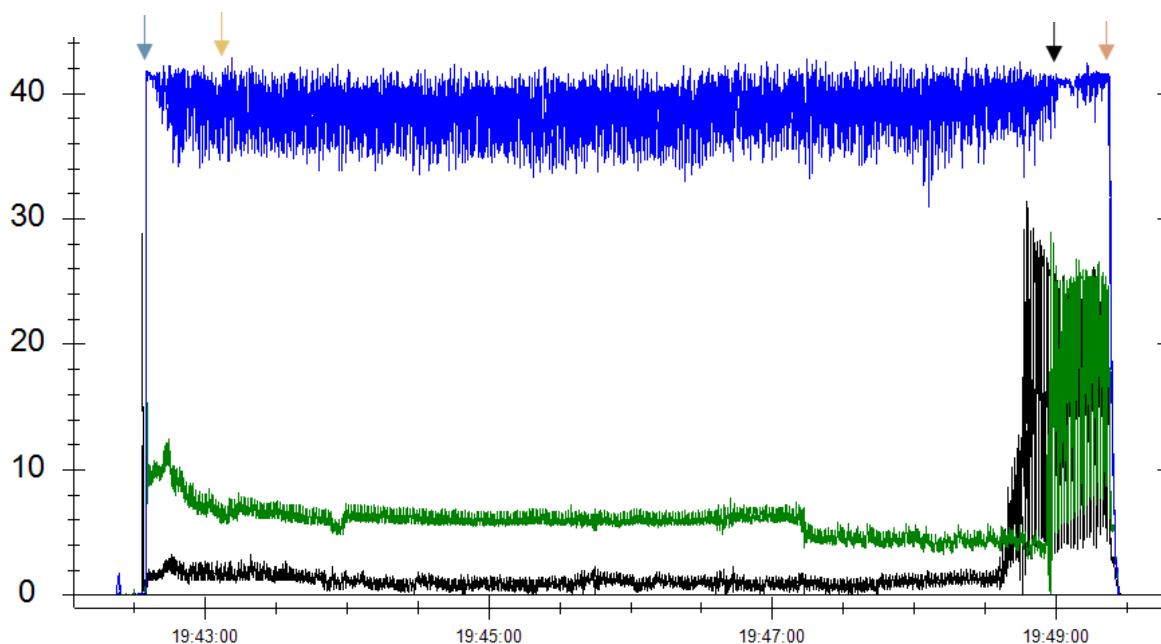
O início da ordenha, que corresponde ao momento no qual os copos de ordenha são colocados nos tetos, foi identificado como o primeiro momento no qual existe registo gráfico de vácuo acima de 25 kPa (Biocontrol 2011). Foram determinadas como bimodais as ordenhas em que se verificou uma descida do vácuo no tubo curto de leite e nas câmaras do bocal anterior e posterior, após o início da ordenha, seguida de um marcado aumento nos três registos de vácuo (Figura 2) (Erskine et al. 2019).

Para determinar o início do pico de fluxo foi utilizada a função automática do VaDia Suite, a qual avalia o vácuo médio no tubo curto de leite em períodos de 10 segundos após a colocação da unidade. Quando a diferença no vácuo entre dois períodos de 10 segundos é inferior a 0.15 kPa, é considerado o ponto médio entre esses dois períodos como o início do pico de fluxo (Biocontrol 2011). Esta função segue o princípio de que o nível de vácuo no coletor é inversamente proporcional ao fluxo de leite (Besier et al. 2016).

O início da sobreordenha foi determinado como o momento no qual se registou um aumento do vácuo nas câmaras do bocal avaliadas para um plateau acima 15 kPa e uma diferença entre o vácuo máximo e médio no tubo curto de leite inferior a 3 kPa. O mesmo critério foi aplicado num estudo observacional realizado em 64 explorações no Michigan (Moore-Foster et al. 2019b).

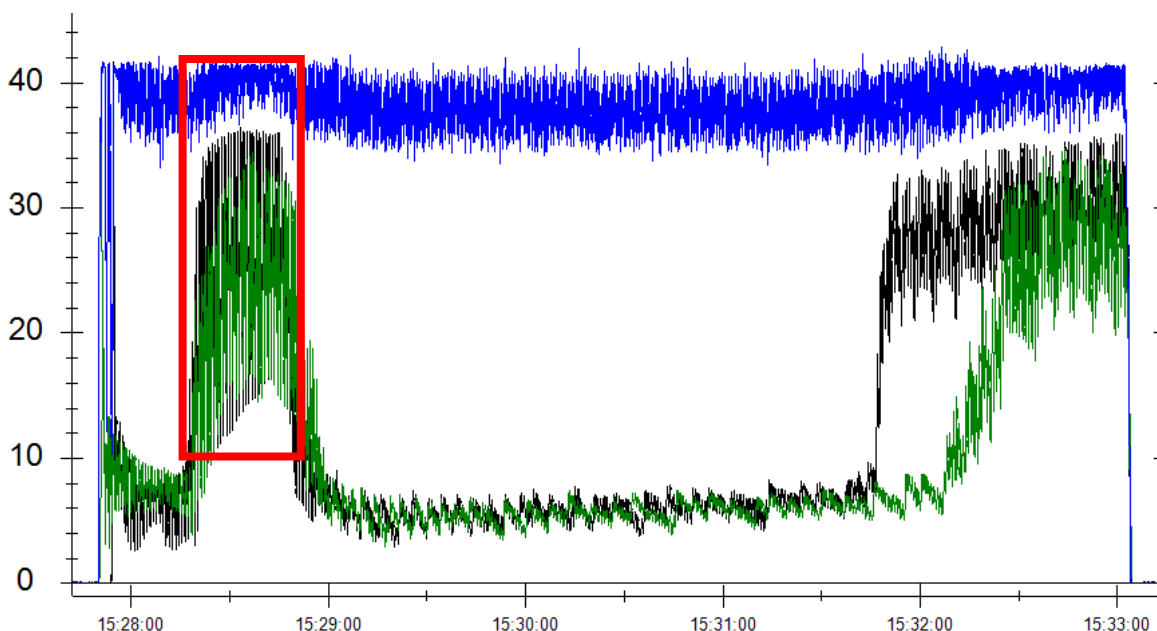
O fim da ordenha corresponde ao momento no qual o vácuo nos quatro canais avaliados retorna a zero. O tempo de sobreordenha foi contabilizado como o intervalo de tempo em segundos entre o início da sobreordenha e o fim da ordenha.

Figura 1 - Registo gráfico digital de vácuo do VaDia Suite demonstrativo de uma ordenha padrão.



O eixo vertical corresponde ao vácuo medido em kPa e o eixo horizontal ao tempo medido em intervalos de 30 segundos. A linha azul corresponde ao registo do vácuo no tubo curto de leite, a linha preta ao registo do vácuo na câmara do bucal de um teto anterior e a linha verde ao registo do vácuo na câmara do bucal de um teto posterior. As setas indicam quatro momentos da ordenha identificados. Seta azul corresponde ao início da ordenha, a seta amarela ao início do pico de fluxo, a seta preta ao início da sobreordenha e a seta cor-de-rosa ao fim da ordenha.

Figura 2 - Registo gráfico digital de vácuo do VaDia Suite demonstrativo de uma ordenha bimodal.



O eixo vertical corresponde ao vácuo medido em kPa e o eixo horizontal ao tempo medido em intervalos de 30 segundos. A linha azul corresponde ao registo do vácuo no tubo curto de leite, a linha preta ao registo do vácuo na câmara do bucal de um teto anterior e a linha verde ao registo do vácuo na câmara do bucal de um teto posterior. A caixa vermelha salienta o aumento do vácuo abrupto nos 3 canais após o início da ordenha, correspondendo, portanto, este registo a uma ordenha bimodal.

5.1.2.3. Avaliação da condição dos tetos

Em todas as explorações incluídas no presente estudo foi avaliada a presença de alterações de curto e longo prazo na condição dos tetos.

Para detetar a presença de alterações de curto prazo na condição dos tetos, foi avaliada nos primeiros 30 a 60 segundos após a remoção da unidade a firmeza da ponta do teto (1-normal, 2-firme, 3-cuneiforme), a cor do teto em tetos não pigmentados (1-rosado, 2-vermelho, 3-azul) e a presença de marcas na base do teto (1-sem marcas visíveis, 2-anel visível na base do teto, 3-anel palpável na base do teto) como proposto pelo Teat Club International (Mein et al. 2001).

Foi considerado que uma vaca tinha alteração de curto prazo na condição dos tetos sempre que: pelo menos um dos tetos apresentasse uma ponta firme ou cuneiforme, uma coloração avermelhada ou azulada, ou um anel palpável na sua base. Esta metodologia foi aplicada recentemente num ensaio realizado numa exploração no estado de Nova Iorque pela Universidade de Cornell (Wieland, Virkler, et al. 2020).

Para detetar e avaliar o grau hiperqueratose da exploração foi utilizada a classificação visual proposta pelo Teat Club International, que apresenta quatro graus distintos de hiperqueratose. Considerou-se que um animal apresentava alterações de longo prazo na condição do teto sempre que pelo menos um dos tetos apresentava um grau 3 ou superior de hiperqueratose, como proposto pelo Teat Club International (Mein et al. 2001).

Em explorações com 400 ou mais vacas em ordenha foram avaliados os 4 tetos de 80 vacas. Em explorações com mais de 400 animais foram avaliados os 4 tetos de 20% do efetivo em ordenha. Foram avaliadas vacas em todos os parques da exploração, num número proporcional à dimensão do parque (Reinemann et al. 2001).

5.2 Análise estatística

Os dados referentes às explorações visitadas e aos animais avaliados foram introduzidos numa folha de cálculo de Excel® (Microsoft Corp., Redmond WA, EUA) para efeitos de tratamento de dados e para realização de estatística descritiva

Para cada vaca foi introduzida a exploração, produção leiteira na ordenha referente à visita (kg), o número de dias em leite, o número de lactação, o tempo total de estimulação (s), o tempo de latência entre o início da estimulação e a colocação da unidade de ordenha (s), ocorrência de bimodalidade, o tempo total de ordenha (min), o tempo de sobreordenha e o fluxo médio de leite, calculado dividindo a produção leiteira pelo tempo total de ordenha (kg/min).

Em cada exploração visitada registou-se o número de ordenhas, o número de animais em ordenha, a produção média no contraste no mês da visita (kg), o tipo de sala de ordenha, o número de pontos de ordenha, o número de ordenhadores por turno de ordenha, a presença

de entradas de ar obstruídas nos coletores (sim ou não), o número de passagens realizadas pelos ordenhadores durante a rotina de ordenha, o número de vacas preparadas por passagem, a proporção de alterações de curto prazo nos tetos, a presença de hiperqueratose, e com recurso à folha de cálculo dos dados individuais de cada vaca o tempo médio de estimulação, o tempo médio de latência, o tempo mediano de sobreordenha e a proporção de ordenhas bimodais.

As duas folhas de cálculo foram importadas para o programa SAS (SAS 9.4, SAS Institute Inc., Cary, NC, EUA), no qual foi realizada a análise estatística. A análise estatística foi assim realizada a nível da exploração (utilizando a cada exploração visitada como uma observação) e a nível da vaca (utilizando cada animal sujeito a avaliação dinâmica de vácuo como uma observação).

5.2.1 Análise estatística inferencial a nível da exploração leiteira

5.2.1.1 Proporção de ordenha bimodal

Para determinar quais os fatores associados com a proporção de vacas com ordenha bimodal numa exploração leiteira foi contruído um modelo linear generalizado com uma função de ligação logit, através do procedimento PROC GLIMMIX (SAS). Para a variável dependente, proporção de vacas avaliadas pelo VaDia com ordenha bimodal, foi assumida uma distribuição beta.

Como variáveis independentes foram selecionadas variáveis que se podem agrupar em 3 categorias: características da exploração, onde se inclui o número de ordenhas e a produção média no contraste do mês da visita; características da rotina de ordenha, onde figuram o tempo total médio de estimulação (s), tempo médio de latência (s), número de vacas preparadas por passagem e número de passagens durante a rotina de ordenha; características da sala de ordenha, que correspondem ao número de pontos de ordenha, número de pontos por ordenhador e número de vacas por ponto de ordenha.

Foram classificadas como variáveis contínuas a produção média de leite, o tempo médio de estimulação, o tempo médio de latência, o número de vacas preparadas por passagem, o número de passagens durante a rotina de ordenha, o número de pontos de ordenha, o número de pontos por ordenhador e o número de vacas por ponto de ordenha, já o número de ordenhas (2 ou 3) foi classificado como variável categórica.

5.2.1.2 Tempo mediano em sobreordenha

Na análise estatística a nível da exploração procurou-se identificar qual a influência de variáveis ligadas à rotina de ordenha, à sala de ordenha e às características da exploração no tempo mediano em sobreordenha da exploração leiteira.

Com vista a poder averiguar a existência de uma associação entre o valor do fluxo de retirada dos retiradores automáticos (g/min) e o tempo mediano de sobreordenha, e visto que o impacto da ordenha em modo manual já iria ser avaliado noutra modelo foram do modelo explorações sem retiradores automáticos (duas explorações).

Assim foi contruído um modelo linear, com recurso ao procedimento PROC MIXED (SAS). Para a variável dependente, tempo mediano de sobreordenha (s), foi assumida uma distribuição normal.

Como variáveis independentes foram consideradas para inclusão no modelo a produção média da exploração (kg), a presença de entradas de ar no coletor obstruídas (sim ou não), o número de ordenhas diárias (2 ou 3), o número de pontos de ordenha, o fluxo de retirada do retirador automático (g/min), e a dimensão do efetivo leiteito.

As variáveis produção média de leite, número de pontos de ordenha, dimensão do efetivo e fluxo de retirada foram classificadas como variáveis contínuas, enquanto o número de ordenhas diárias e a presença de obstruções no coletor foram consideradas variáveis categóricas.

5.2.2 Análise estatística inferencial a nível individual

5.2.2.1 Ordenha bimodal

De forma a identificar a associação entre características individuais da vaca e da ordenha na ocorrência foi contruído um modelo linear generalizado misto, com uma função de ligação logit e uma distribuição binária da variável de resposta, ocorrência de sobreordenha (sim ou não) com recurso ao procedimento PROC GLIMMIX (SAS).

Para controlar o efeito da agregação das vacas por exploração foi incluído em todos os modelos realizados com a vaca como unidade observacional a exploração como efeito aleatório do modelo. A estrutura de covariância selecionada para os modelos acima referidos foi a componente de variância, uma vez que foi a estrutura de covariância que resultou no menor critério de informação de *Akaike*.

Adicionalmente, apenas foram utilizadas, nos modelos realizados a nível individual, observações provenientes de explorações com sistemas de identificação automática, o que levou à utilização de 485 das 606 observações recolhidas nestes modelos.

As variáveis independentes contínuas selecionadas para este modelo foram o número de dias em leite no dia da avaliação, o tempo de estimulação (s) e o tempo de latência (s), já a paridade (primípara ou múltipara) foi incluída como variável categórica.

5.2.2.2 Tempo em sobreordenha

Para testar a hipótese de o tempo em sobreordenha de cada vaca estar associado às suas características individuais e a práticas realizadas durante a ordenha foi contruído um modelo linear misto com recurso ao procedimento PROC MIXED, para a variável dependente logaritmo natural do tempo em sobreordenha em segundos. A variável dependente sofreu transformação logarítmica de forma a que o modelo cumprisse os pressupostos assumidos de normalidade e homocedasticidade dos resíduos.

Foram incluídas inicialmente no modelo como fatores a paridade (multípara ou primípara), o número de dias em leite, a utilização do modo manual (sim ou não) e a ocorrência de recolocação da unidade de ordenha após a sua retirada (sim ou não).

A utilização do modo manual, a recolocação da unidade de ordenha e a paridade foram classificadas como variáveis categóricas. Por outro lado, o número de dias em leite foi considerado uma variável contínua.

5.2.2.3 Fluxo médio de leite

De forma a investigar a associação entre o tempo em sobreordenha (s) e a ocorrência de ordenha bimodal na eficiência de ordenha de uma vaca, foi construído um modelo linear misto para a variável de resposta fluxo médio de leite (kg/min), com recurso ao procedimento PROC MIXED (SAS).

Como variáveis explicativas foram incluídas no modelo inicial a paridade (primípara ou multípara), o número de dias em leite, a ocorrência de ordenha bimodal (sim ou não) e o tempo de sobreordenha (s). O número de dias em leite e a paridade foram incluídos no modelo de forma a garantir que a possível associação entre a bimodalidade e o fluxo médio de leite seria devida à bimodalidade e não devida a colinearidade com essas variáveis. O mesmo procedimento foi realizado no modelo do leite obtido na ordenha.

Neste modelo, foram classificadas como variáveis contínuas o número de dias em leite e o tempo em sobreordenha, enquanto que as variáveis ocorrência de ordenha bimodal e paridade foram classificadas como variáveis categóricas.

5.2.2.4 Leite ordenhado

Para testar a hipótese de a ocorrência de ordenha bimodal estar associada ao leite obtido nessa ordenha foi construído um modelo linear misto com a variável dependente produção leiteira da vaca na ordenha avaliada (kg), com recurso ao procedimento PROC MIXED (SAS).

As variáveis independentes incluídas no modelo inicial foram a ocorrência de ordenha bimodal (sim ou não), o número de dias em leite e a paridade (primípara ou multípara).

Entre as variáveis consideradas para o modelo inicial, o número de dias em leite foi assumido como variável contínua, enquanto as restantes (ordenha bimodal e paridade) foram classificadas como variáveis categóricas.

5.2.3 Seleção das variáveis e análise dos resíduos

As variáveis independentes consideradas em todos os modelos foram introduzidas nos modelos iniciais, sem qualquer pré-seleção com recurso a análise univariada. A seleção das variáveis para os modelos finais foi feita através da eliminação gradual das variáveis com maior valor de p no teste tipo III para os efeitos fixos, tendo sido incluídas no modelo final as variáveis com um valor de $P < 0.157$ que resultaram no menor critério de informação de *Akaike* (AIC) (Heinze and Dunkler 2017).

No modelo final foram consideradas significativas as diferenças com valor de $P < 0.05$, e classificaram-se como tendências diferenças com valores de P entre 0.05 e 0.1. As Interações entre os efeitos principais foram incluídas no modelo final quando apresentaram valores de $P < 0.05$.

A assunção de homocedasticidade dos resíduos em todos os modelos foi avaliada com recurso à observação do gráfico dos resíduos estudentizados versus valores ajustados. A normalidade na distribuição dos resíduos foi avaliada através da observação do gráfico de quantis dos resíduos.

6. Resultados

6.1 Características das explorações leiteiras

As 21 explorações incluídas no estudo apresentaram em média 406 ± 44 (média \pm erro-padrão da média) vacas em ordenha, tendo a maior exploração 864 e a menor 160 vacas em ordenha.

A produção por vaca em produção por dia observada em cada exploração correspondeu em média a $34,2 \pm 1.06$ kg por vaca por dia, sendo que a maior produção por vaca em produção registada foi de 44.1 e a menor 24.1 kg por vaca por dia.

Das 21 explorações, 12 (57%) realizavam duas ordenhas diárias enquanto que 9 (43%) ordenhavam três vezes por dia.

6.2 Características das salas de ordenha

Entre as diferentes salas de ordenha nas quais foi realizada avaliação dinâmica de vácuo encontraram-se 13 salas de ordenha paralelas (66.6%), 2 salas de ordenha giratórias (9.5%), 3 salas de ordenha em espinha (14.3%), 1 sala de ordenha *tandem* (4.8%) e 1 sala de ordenha *swing-over* (4.8%).

No que diz respeito ao número de pontos de ordenha, as salas de ordenha visitadas no âmbito deste estudo apresentaram em média 30 ± 3 pontos de ordenha, exibindo a maior sala de ordenha 70 pontos de ordenha e a menor 10 pontos de ordenha.

Apenas 2 (9.5%) salas de ordenha não dispunham de retiradores automáticos. Entre as salas de ordenha que dispõem de retiradores automáticos 50% das explorações apresentaram um fluxo de retirada igual ou inferior a 400 gramas por minuto, sendo o fluxo de retirada médio das explorações incluídas no estudo 445 ± 43 gramas por minuto. O fluxo de retirada mais elevado correspondeu a 900 gramas por minuto (1 exploração) enquanto que o valor mais baixo para remoção da unidade de ordenha correspondeu a 200 gramas por minuto (2 explorações).

6.3 Características da rotina de ordenha

Do ponto de vista da organização do trabalho, das 21 rotinas de ordenha avaliadas nas diferentes explorações, em 2 (9.5%) os ordenhadores realizavam a preparação por grupos, em 6 (28.6%) realizavam a preparação em série, enquanto nas restantes 13 (61.9%) preparavam as vacas de forma territorial.

No que diz respeito ao número de passagens por ponto de ordenha realizadas durante a rotina de ordenha, em 2 explorações (9.5%) os ordenhadores efetuavam apenas uma passagem, em 5 explorações (23.8%) realizavam 2 passagens, em 10 (47.6%) explorações executavam 3 passagens e em 4 (19.1%) explorações efetuavam um total de 4 passagens durante a rotina de ordenha.

Em 43% (9/21) das rotinas de ordenha avaliadas a remoção manual dos primeiros jatos de leite era realizada e em 29% das explorações (6/21) recorria-se à utilização estimulador mecânico (Stimuplus, GEA Westfalia) como forma adicional de estimulação.

6.4 Tempo total de estimulação e tempo de latência

Foi cronometrada a rotina pré-ordenha de 606 animais. O tempo total de estimulação mediano da amostra correspondeu a 8.56 segundos, com um intervalo interquartil de 19.43 segundos. O tempo total máximo de estimulação da amostra corresponde a 97.8 segundos e o tempo total mínimo de estimulação a 0.68 segundos.

O tempo de latência mediano dos animais cronometrados foi 83.35 segundos, com um intervalo interquartil de 61.29 segundos. O menor tempo de latência registrado correspondeu a 9.19 segundos tendo o maior sido 342.19 segundos.

Gráfico 1- Vacas cronometradas por intervalo de tempo de latência

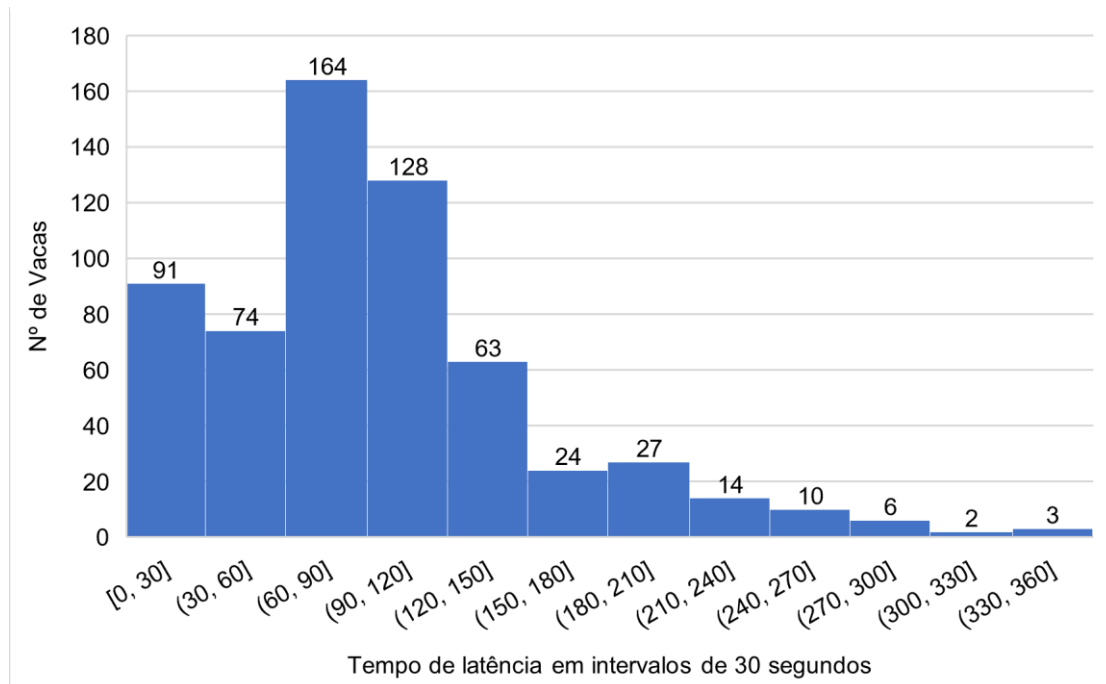
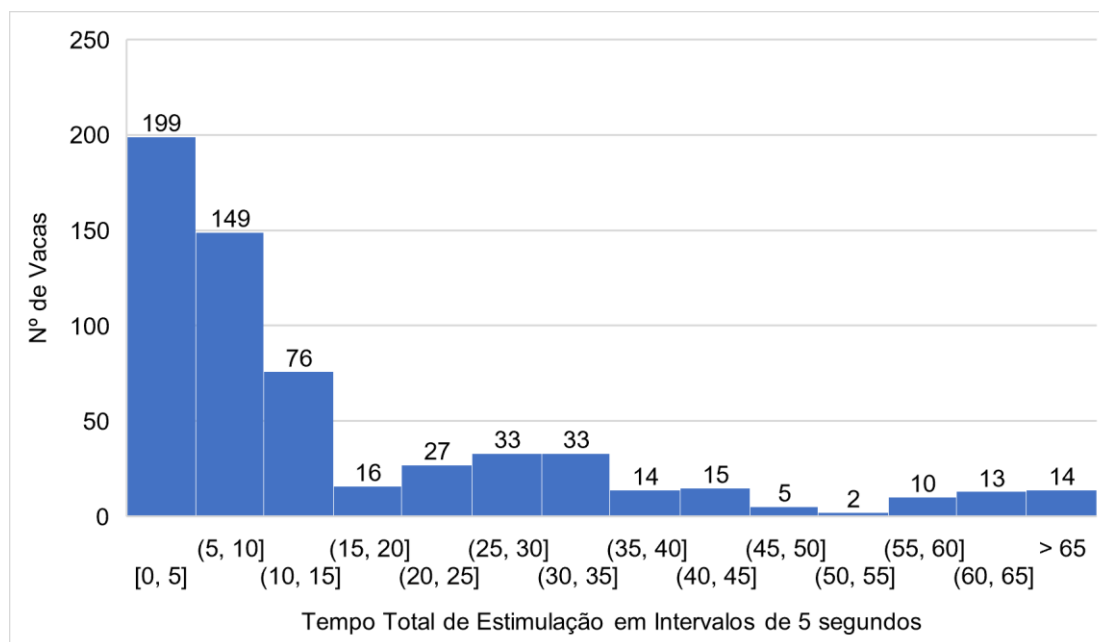


Gráfico 2 - Vacas cronometradas por intervalo de tempo total de estimulação



Na tabela 1 estão registados o tempo total de estimulação me e o tempo de latência médio de cada exploração.

Tabela 1 - Tempo total de estimulação e tempo de latência médios em segundos por exploração

Exploração	Tempo total de estimulação médio	Tempo de latência médio
AG	3.65	14.68
APC	4.02	121.86
BB	3.24	103.32
HB	4.76	73.14
AC	10.68	81.21
CO	11.35	88.30
HE	65.48	73.77
FL	10.11	167.70
JC	6.24	85.98
JT	6.52	76.65
AL	29.18	97.83
HL	6.60	113.91
HC	2.90	45.36
HA	25.36	80.42
MH	23.12	261.02
PA	8.89	103.21
HP	7.75	17.35
CP	16.56	70.24
QP	4.23	76.90
TO	34.65	126.76
VT	51.71	105.28
Total Geral	15.75	94.47

6.5 Avaliação dinâmica do vácuo de ordenha

Entre as 21 explorações incluídas neste estudo foi realizada avaliação dinâmica de vácuo durante a ordenha de 606 vacas. Foram avaliadas em média 29 ± 3 vacas por exploração, tendo sido avaliada a ordenha de 14 vacas na exploração onde foi avaliado um menor número de vacas e 59 vacas na exploração onde foram sujeitos mais animais a avaliação dinâmica de vácuo.

A proporção média de vacas sujeitas a avaliação dinâmica de vácuo no total do número de vacas em ordenha por exploração foi de $8\% \pm 0.9\%$ (mínimo 4%; máximo 19%).

6.5.1. Vácuo médio no coletor e pulsação

Entre as explorações sujeitas a avaliação dinâmica de vácuo, registou-se um vácuo médio no coletor durante o pico de fluxo de 36.36 ± 0.58 kPa. O valor de vácuo médio no coletor mais elevado correspondeu a 40.20 kPa, enquanto o menor foi 32.10 kPa. Todas as explorações apresentaram um nível de vácuo médio no coletor durante o pico de fluxo dentro das recomendações do National Mastitis Council (NMC 2012) e do Standard ISO 5707:2007.

No que diz respeito à pulsação dos sistemas de ordenha, verificou-se uma frequência de pulsação média de 60.9 ± 0.2 ciclos por minuto (mínimo 59.9; máximo 62.1). A duração média da fase b foi 476 ± 10 milissegundos (mínimo 400ms; máximo 560ms), representando em média $48.3\% \pm 0.8\%$ (mínimo 41.3%; máximo 56.1%) do ciclo de pulsação. Já a fase d do ciclo de pulsação apresentou uma duração média de 258 ± 6 milissegundos (mínimo 210ms; máximo 319ms), correspondendo em média a $26.2\% \pm 0.6\%$ do ciclo de pulsação (mínimo 21.7%; máximo 31.9%).

6.5.2 Ordenha bimodal

Entre os 606 registos gráficos digitais de vácuo de ordenhas individuais avaliados no VaDia Suite, 260 foram identificados como registos gráficos de ordenha bimodal, representando 42.9% (IC 95%: 39% a 46.9%) das ordenhas avaliadas (tabela 2).

A percentagem média de bimodalidade por exploração foi 41.7% (IC 95%: 31.1% a 52.4%). A percentagem de vacas com ordenha bimodal no total de avaliadas no VaDia Suite em cada exploração pode ser consultada na tabela 2.

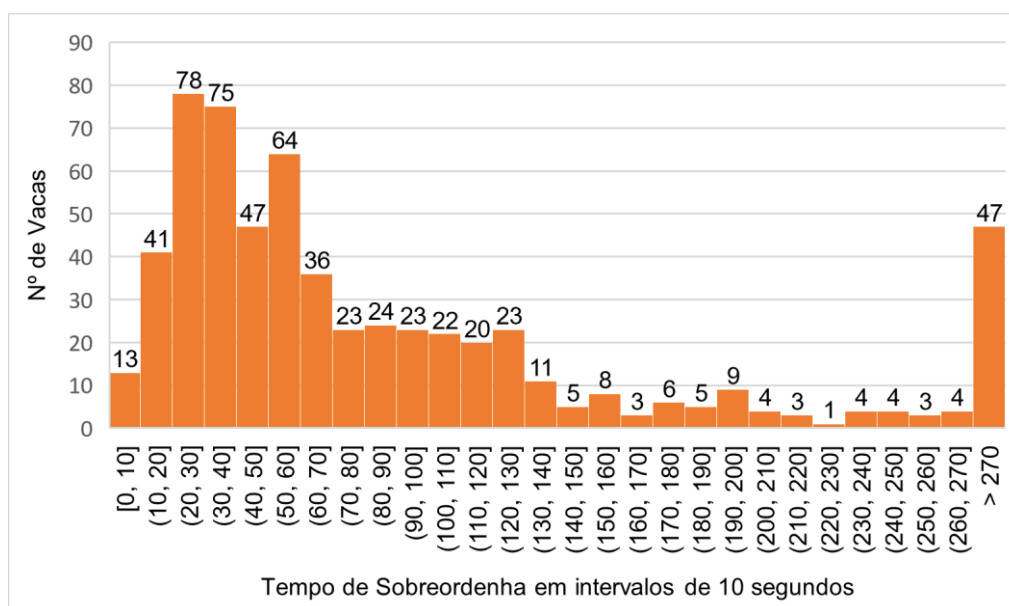
Tabela 2 - Percentagem de bimodalidade por exploração

Exploração	Nº de Ordenhas Bimodais	Nº Ordenhas Avaliadas	Percentagem de Bimodalidade
AG	51	59	86.4%
APC	18	44	40.9%
BB	24	28	85.7%
HB	9	22	40.9%
AC	20	58	34.5%
CO	7	19	36.8%
HE	5	28	17.9%
FL	17	41	41.5%
JC	10	18	55.6%
JT	7	20	35%
AL	2	28	7.1%
HL	10	21	47.6%
HC	8	22	36.4%
HA	4	17	23.5%
MH	5	23	21.7%
PA	3	17	17.6%
HP	12	14	85.7%
CP	11	20	55%
QP	23	36	63.9%
TO	7	45	15.6%
VT	7	26	26.9%
Total Geral	260	606	42.9%

6.5.3 Sobreordena

No que concerne à avaliação da sobreordena nos 606 registos gráficos digitais de vácuo, registou-se um tempo mediano em sobreordena de 59 segundos e o intervalo interquartil correspondeu a 80 segundos. O menor tempo em sobreordena correspondeu a 0 segundos, sendo que o maior período de sobreordena identificado teve uma duração de 932 segundos. 77.1% (IC95%: 73.7% a 80.4%) dos animais, avaliados com o VaDia, foram sujeitos a um período de sobreordena superior a 30 segundos (gráfico 3).

Gráfico 3 - Distribuição do tempo em sobreordena em intervalos de 10 segundos



O tempo mediado em sobreordena de cada exploração pode ser consultado na tabela 3. Em média 78.3% (IC95%: 73.9% a 82.7%) das vacas de cada exploração, sujeitas a avaliação dinâmica de vácuo, foram sobreordenadas durante mais de 30 segundos.

Tabela 3 - Tempo mediano em sobreordena e percentagem de animais sobreordenados mais de 30 segundos por exploração

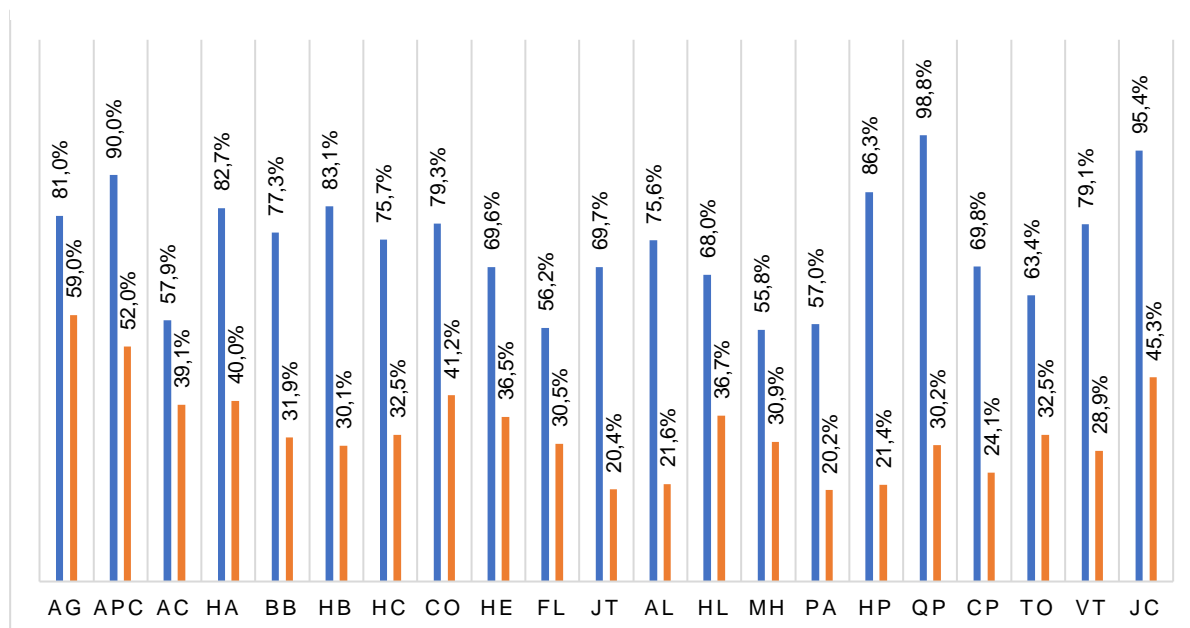
Exploração	Tempo Mediano em Sobreordena (s)	% ordenhas com tempo de sobreordena > 30 segundos
AG	56	84.7%
APC	174	93.2%
BB	73.5	85.7%
HB	34,5	86.4%
AC	44.5	65.5%
CO	109	100%
HE	101	96.4%
FL	24	29.3%
JC	98	100%
JT	40	60%
AL	53.5	92.9%
HL	55	57.1%
HC	31.5	50%
HA	60	88.2%
MH	33	56.5%
PA	41	64.7%
HP	84	100%
CP	35	65%
QP	393.5	100%
TO	40	68.9%
VT	117.5	100%

6.6. Avaliação da condição dos tetos

No que respeita as alterações de curto prazo da condição dos tetos, em média 78.4% \pm 2.7% das vacas avaliadas em cada exploração apresentaram pelo menos 1 teto com uma na alteração da cor, na consistência da ponta do teto ou uma marca visível na base do teto.

Em relação ao grau de hiperqueratose da ponta do teto, registou-se um grau igual ou superior a 3 em pelo menos um teto de 33.6% \pm 2.2% das vacas avaliadas em cada exploração.

Gráfico 4 - Prevalência de alterações de curto prazo e hiperqueratose por exploração



No gráfico de barras a barra azul corresponde à prevalência de alterações de curto prazo na exploração, a barra laranja, por sua vez, corresponde à prevalência de hiperqueratose da ponta do teto.

6.7. Modelos lineares generalizados

6.7.1. Proporção de bimodalidade

No modelo linear generalizado com a variável dependente proporção de vacas avaliadas pelo VaDia com ordenha bimodal, foram incluídas no modelo final como significativas as variáveis independentes tempo total de estimulação médio em segundos ($P=0.02$; tabela 4) e o número de passagens durante a rotina de pré-ordenha ($P=0.0289$; tabela 4). Mantendo as restantes variáveis constantes, por cada segundo adicional de estimulação, as chances da proporção de bimodalidade na exploração aumentar diminuiram 2.83%. Por sua vez, quando o número de passagens durante a rotina de pré-ordenha aumentou, verificou-se que por cada passagem adicional as possibilidades da proporção de bimodalidade ser mais elevada diminuiram 35.04%.

O número de ordenhas diárias (2 ou 3) foi incluído no modelo final como tendência ($P=0.0987$; tabela 4), verificou-se que uma exploração que ordenha 2 vezes por dia tem 56%

das chances de ter uma proporção de bimodalidade mais elevada que uma exploração que realiza 3 ordenhas diárias.

Tabela 4 - Modelo final para variável dependente proporção de bimodalidade

Parâmetro	Estimativa*	Erro-Padrão	Valor de P
Interseção	1.6354	0.5944	0.0136
Nº Ordenhas (2)**	-0.5755	0.3294	0.0987
Estimulação (s)	-0.02868	0.01117	0.0200
Nº de Passagens	-0.4314	0.1808	0.0289
Scale	8.5823	2.5413	

*As estimativas dos parâmetros calculadas neste modelo correspondem ao logaritmo natural do rácio das chances de ocorrência da proporção de bimodalidade ser 1

** (2) Efeito fixo do número de ordenhas no modelo quando a exploração realiza 2 ordenhas em comparação com 3

6.7.2. Tempo mediano em sobreordenha

No modelo linear com a variável dependente tempo mediano em sobreordenha (segundos), foram incluídas no modelo final como variáveis explicativas significativas o fluxo de retirada ($P=0.0056$; tabela 5) da unidade de ordenha (g/min), verificou-se que por cada incremento de 1 unidade no valor do fluxo de leite que aciona a remoção da unidade de ordenha, o tempo mediano em sobreordenha diminuiu 0.09073 segundos; assim como a presença de entradas de ar no coletor obstruídas ($P=0.0387$; tabela 5), que figurou no modelo como efeito fixo cuja ocorrência determinou um aumento no tempo mediano em sobreordenha da exploração em 37.4040 segundos.

Tabela 5 - Modelo final para variável dependente tempo mediano em sobreordenha (s)

Parâmetro	Estimativa	Erro-Padrão	Valor de P
Interseção	96.9446	13.9455	<0.0001
Fluxo de Retirada (g/min)	-0.09073	0.02836	0.0056
Coletor Obstruído (1)*	37.4040	16.6089	0.0387

*(1) Efeito fixo do coletor obstruído no modelo quando o resultado é 1 (existem coletores obstruídos) em comparação com 0 (não existem coletores obstruídos)

6.7.3. Ocorrência de ordenha bimodal

No modelo linear generalizado misto com a variável dependente ocorrência de ordenha bimodal num evento de ordenha individual, foram incluídas no modelo final como variáveis independentes significativas o número de dias em leite ($P=0.0004$; tabela 6), verificando-se que quando as restantes variáveis eram mantidas constantes, por cada dia em leite adicional as chances de ocorrência de ordenha bimodal aumentavam 0.34%; o tempo de

latência ($P=0.0010$; tabela 6), constatando-se que por cada segundo adicional entre o início da estimulação e a colocação da unidade de ordenha as chances da ordenha ser bimodal diminuiu 0.89%; e o tempo de estimulação ($P=0.0331$; tabela 6) determinando-se que um incremento de 1 segundo de estimulação resultava numa redução de 2.65% nas possibilidades da ordenha de uma vaca ser bimodal.

Tabela 6 - Modelo final para a variável dependente ocorrência de ordenha bimodal

Parâmetro	Estimativa*	Erro-Padrão	Valor de P
Interseção	0.09911	0.4308	0.8210
Dias em Leite	0.003346	0.000930	0.0004
Paridade (1)**	0.3516	0.2227	0.1151
Tempo de Latência (s)	-0.00897	0.002716	0.0010
Tempo Total de Estimulação (s)	-0.02684	0.01256	0.0331

*As estimativas dos parâmetros calculadas neste modelo correspondem ao logaritmo natural do rácio das chances de ocorrência de ordenha bimodal

** (1) Efeito fixo da paridade no modelo quando a paridade da vaca é 1 (primípara) em detrimento 2 (múltipara)

6.7.4. Tempo em sobreordenha

No modelo linear com a variável dependente tempo em sobreordenha (logaritmo natural), foram retidas como significativas no modelo final as seguintes variáveis independentes binárias: ordenha em modo manual ($p<0.0001$; tabela 7) verificando-se que quando uma vaca foi ordenhada em modo automático (modo manual=0) o tempo em sobreordenha diminuiu 99.82%; paridade ($P<0.0001$; tabela 7), constatando-se que uma vaca primípara (paridade=1) foi sujeita a 35.16% do tempo em sobreordenha de uma múltipara (paridade=2); recolocação da unidade de ordenha após o retirador automático ter sido acionado ($P=0.0091$; tabela 7), observando-se que quando os animais não foram sujeitos a recolocação da unidade de ordenha o tempo em sobreordenha diminuiu 89.62%. A variável explicativa número de dias em leite foi incluída no modelo final como tendência ($P=0.596$; tabela 7), sendo que 1 dia em leite adicional se traduziu numa redução de 0.189% no tempo em sobreordenha.

Tabela 7 - Modelo final para a variável dependente tempo em sobreordena (logaritmo natural)

Parâmetro	Estimativa	Erro-Padrão	Valor de P
Interseção	16.9287	1.0789	<0.0001
Dias em Leite	-0.00189	0.00189	0.0596
Modo Manual (0)*	-6.2791	0.5778	<0.0001
Bimodal (0)**	-0.4156	0.2717	0.1268
Paridade (1)***	-1.0261	0.2489	<0.0001
Recolocação (0)****	-2.2648	0.8645	0.0091

*(1) Efeito fixo do modo de ordenha manual no modelo quando é utilizada ordenha automática (0) em comparação com manual (1)

** (0) Efeito fixo da ausência de ordenha bimodal no modelo (0)

*** (1) Efeito fixo da paridade no modelo quando a paridade da vaca é 1 (primípara) em detrimento de 2 (múltipara)

**** (0) Efeito fixo no modelo quando a unidade de ordenha não é recolocada após ser acionado o retirador automático

6.4.5. Fluxo médio de leite

No modelo linear misto com a variável dependente fluxo médio de leite (kg/min), foram incluídas no modelo final como variáveis explicativas significativas o número de dias em leite ($P < 0.0001$; tabela 8), verificando-se que cada incremento de 1 dia em leite em múltiparas se traduziu numa diminuição 0.0191 kg/min no fluxo médio de leite; fruto da interação entre os dias em leite e a paridade ($P < 0.0001$; tabela 8), por cada dia adicional em leite registou-se um incremento de 0.000218 kg/min no fluxo médio de leite; a paridade ($P < 0.0001$; tabela 8), sendo que as vacas primíparas apresentaram uma diferença no fluxo médio de leite de 0.5659 kg/min face a vacas múltiparas; a ocorrência de ordenha bimodal ($P = 0.0002$; tabela 8) constatando-se que o fluxo médio de leite foi 0.2504 kg/min superior em vacas que não apresentaram ordenha bimodal; por fim o tempo em sobreordena ($P < 0.0001$; tabela 8) registando-se que cada segundo adicional em sobreordena resultou numa redução de 0.00441 kg/min no fluxo médio de leite individual.

Tabela 8 - Modelo final a variável dependente fluxo médio de leite (kg/min)

Parâmetro	Estimativa	Erro-Padrão	Valor de P
Interseção	3.2072	0.1076	<0.0001
Bimodal (0)*	0.2504	0.06668	0.0002
Sobreordena	-0.00441	0.000453	<0.0001
Dias em Leite	-0.00191	0.000362	<0.0001
Paridade (1)**	-0.5659	0.1146	<0.0001
Dias em Leite*Paridade (1)	0.002128	0.000501	<0.0001

*(0) Efeito fixo da ausência de ordenha bimodal no modelo (0)

** (1) Efeito fixo da paridade no modelo quando a paridade da vaca é 1 (primípara) em detrimento de 2 (múltipara)

6.4.6. Leite ordenhado

No modelo linear misto com a variável leite produção de leite por ordenha (kg), foram incluídas no modelo final como variáveis independentes significativas o número de dias em leite ($P < 0.0001$; tabela 9), verificando-se que por cada dia em leite adicional numa vaca multípara resultou numa diminuição de 0.02076 kg na produção de leite por ordenha, já em primíparas um aumento de um dia em leite resultou numa quebra de produção de 0.00769 kg por ordenha, esta diferença foi resultado da interação significativa entre os efeitos principais dias em leite e paridade ($P < 0.0001$, tabela 9); a paridade ($P < 0.0001$; tabela 9), tendo as vacas multíparas a produzido mais 4.3302kg de leite por ordenha que primíparas; a ocorrência de ordenha bimodal ($P < 0.0001$; tabela 9) constatando-se uma quebra na produção de leite por ordenha de 1.6666kg em vacas que apresentaram ordenha bimodal no registo gráfico digital de vácuo.

Tabela 9 - Modelo final para a variável dependente leite ordenhado (kg)

Parâmetro	Estimativa	Erro-Padrão	Valor de P
Interseção	18.3751	0.6142	<0.0001
Bimodal (0)	1.6666	0.3159	<0.0001
Dias em Leite	-0.02076	0.001670	<0.0001
Paridade (1)	-4.3302	0.5243	<0.0001
Dias em Leite*Paridade (1)	0.01307	0.002313	<0.0001

** (0) Efeito fixo da ausência de ordenha bimodal no modelo (0)

** (1) Efeito fixo da paridade no modelo quando a paridade da vaca é 1 (primípara) em detrimento de 2 (multípara)

7. Discussão de resultados

Como primeira nota nesta discussão, é importante ter em conta que as explorações incluídas no nosso estudo se localizam predominantemente no Alentejo e na Estremadura. Segundo o Instituto Nacional de Estatística em 2015 estas duas regiões representaram no seu somatório, 16.7% das entregas de leite bovino em Portugal, atrás da região Norte (38.4%) e dos Açores (29.7%). O tipo de exploração presente nestas regiões é distinto da exploração média portuguesa - no Alentejo e na Estremadura as explorações apresentavam em 2013 uma média de 129 e 122 vacas por exploração, enquanto a média nacional corresponde a 34 vacas por exploração (Instituto Nacional de Estatística 2016). O universo de explorações incluídas no presente estudo apresenta em média 430 vacas em ordenha, com a menor exploração a apresentar 160 animais no efetivo em lactação, o que significa que tanto para a realidade portuguesa como para a realidade regional, as explorações em estudo são consideradas explorações de grande dimensão.

Também em termos produtivos as explorações avaliadas neste trabalho se distinguem da média nacional. Em 2013 a produção média diária de uma vaca em lactação correspondeu

a 22.9kg de leite (Instituto Nacional de Estatística 2016), enquanto que em média, cada vaca em ordenha, nas explorações incluídas no estudo, produziu 34.2kg de leite por dia, no mês em que foi realizada a avaliação.

7.1 Ordenha bimodal

A percentagem média de vacas com ordenha bimodal encontrada, na proporção de vacas avaliadas por exploração, encontrada foi 41.7% (IC95%: 31.1% a 52.3%). Este é um valor mais elevado que o reportado em estudos anteriores (Dodenhoff et al. 1999; Sandrucci et al. 2007; Samoré et al. 2011; Moore-Foster et al. 2019c), existindo, no entanto, diferenças na definição de caso e na metodologia utilizada nestes trabalhos.

No estudo realizado no Michigan (Moore-Foster et al. 2019c), em que foram avaliadas 64 explorações, com uma média de 60 observações por exploração, foi também utilizado o VaDia e o registo de vácuo durante a ordenha como forma indireta de avaliação do fluxo de leite. Já a definição de caso difere, tendo sido avaliado o tempo entre a colocação da unidade e a ejeção do leite alveolar. Os investigadores consideraram que vacas cuja ejeção do leite alveolar ocorresse mais de 30 segundos após a colocação da unidade de ordenha apresentavam atraso na ejeção do leite, situação que era acompanhada 97% das vezes por um registo gráfico de ordenha bimodal (figura 2). Assim, aplicando a definição de caso do presente trabalho a percentagem de bimodalidade seria 24.3%, um valor ainda menor que o originalmente reportado.

Os trabalhos de investigação realizados na região da Lombardia (Sandrucci et al. 2007) em 82 explorações com um total de 2462 ordenhas individuais avaliadas, no norte de Itália (Samoré et al. 2011) em 133 explorações, com uma média de 22 vacas avaliadas por exploração, e na região da Baviera, na Alemanha (Dodenhoff et al. 1999), com 13964 vacas avaliadas, reportam uma proporção de curvas de fluxo de leite bimodal no total das curvas avaliadas de 35.1%, 33.8% e de 22% respetivamente. Estes investigadores recorreram a um instrumento designado Lactocorder® (WMB, Balgach, Suíça) que mede, de forma contínua, o fluxo de leite durante a ordenha de uma animal, sendo esta uma forma mais direta de avaliação do fluxo de leite que o vácuo.

A associação entre o número de dias em leite ($P=0.0004$; tabela 6) e a ocorrência de ordenha bimodal a nível individual, com um aumento das chances de bimodalidade à medida que a lactação avança, verificada neste trabalho está de acordo com os resultados encontrados nos estudos observacionais realizados em Itália (Sandrucci et al. 2007; Samoré et al. 2011) e em ensaios de campo realizados na Suíça (Bruckmaier and Hilger 2001; Weiss and Bruckmaier 2005).

Um ensaio realizado em Berna comparou o efeito de 5 tratamentos de estimulação mecânica diferentes (sem estimulação, 20 segundos, 40 segundos, 60 segundos e 90

segundos), atribuídos numa sequência aleatória em blocos de 4 ordenhas consecutivas, no fluxo de leite de 48 vacas com paridades e em fases da lactação diferentes. Os investigadores verificaram que na ordenha sem estimulação a diminuição no grau de preenchimento do úbere, avaliado como o leite obtido na ordenha na proporção de metade da produção diária durante o segundo mês de lactação, resultou num aumento significativo do tempo necessário para a descida do leite alveolar de 50 para 120 segundos. Esta diferença tem como causa provável, a necessidade de um maior grau de contração das células mioepiteliais, em alvéolos com menor quantidade de leite (Weiss and Bruckmaier 2005).

O grau de preenchimento do úbere diminui após o pico de produção (Bruckmaier and Hilger 2001). Por conseguinte, o aumento das chances do leite cisternal ser ordenhado antes da transferência do leite alveolar, em fases mais avançadas da lactação, verificado neste trabalho, estará relacionado com o aumento do intervalo de tempo entre o início da estimulação e a referida transferência.

O aumento do número de dias em leite determina também, uma redução na taxa de secreção de leite alveolar (Knight et al. 1994; Pfeilsticker et al. 1996). Como consequência, diminui a transferência de leite entre o compartimento alveolar e o compartimento cisternal durante o período entre ordenhas, resultando numa menor quantidade de leite presente nas cisternas e grandes ductos nos momentos que antecedem a ordenha (Pfeilsticker et al. 1996; Ayadi et al. 2003). Este facto pode contribuir para que as chances de uma ordenha ser bimodal aumentem com o número de dias em leite.

Observou-se a diminuição das chances de uma ordenha ser bimodal com o aumento do tempo de latência entre o início da estimulação e a colocação da unidade ($P=0.0010$; tabela 6). A concentração sanguínea de ocitocina aumenta significativamente cerca de 30 segundos após o início da estimulação. Sendo que o aumento da pressão intramamária na cisterna do teto, ocorre em 50 a 120 segundos, em função da quantidade de leite presente nos alvéolos (Bruckmaier and Hilger 2001; Weiss and Bruckmaier 2005). Consequentemente, é necessário conceder um intervalo de tempo após o início da estimulação, para que a transferência do leite alveolar já tenha ocorrido quando a unidade de ordenha é colocada.

A associação, por nós reportada, está de acordo com o relatado por Sandrucci et al. (2007), num estudo observacional transversal, que verificaram uma percentagem de bimodalidade significativamente inferior em animais cujo intervalo de tempo entre o início da preparação do úbere e a colocação da unidade de ordenha foi superior a 60 segundos.

Já Moore-Foster et al. (2019c) não encontraram qualquer associação entre a proporção de animais com atraso na ejeção do leite e o tempo de latência médio entre o início da estimulação e a colocação da unidade numa exploração. Porém, 48 das 64 explorações avaliadas neste estudo apresentaram um tempo de latência médio superior a 84 segundos, facto que pode ter mascarado o efeito de um tempo de latência mais curto.

Ensaios de campo realizados no estado de Nova Iorque na Suíça e na Dinamarca, nos quais os animais em estudo foram sujeitos a diferentes combinações de estimulação e tempo de latência, reportam uma diminuição na bimodalidade com aumento do tempo de latência de 0 para pelo menos 60 segundos em todos os grupos em estudo (Rasmussen et al. 1992; Kaskous and Bruckmaier 2011; Watters et al. 2012). A redução é, todavia, mais evidente em animais em final de lactação (Kaskous and Bruckmaier 2011; Watters et al. 2012).

Watters et al. (2012) constataram ainda que vacas numa fase avançada da lactação beneficiariam de um prolongamento do tempo de latência para valores entre 90 e 120 segundos. Não obstante, um alongamento excessivo deste intervalo para 240 segundos resultou num aumento significativo da proporção de ordenha bimodal em qualquer fase da lactação. Por outro lado, no estudo de Rasmussen et al. (1992) registou-se uma diminuição significativa no tempo necessário para atingir um fluxo de leite estável no tubo longo do leite, quando o tempo de latência foi 180 segundos, em comparação com 36 e 80 segundos em vacas Holstein americanas, Holstein dinamarquesas e Jersey dinamarquesas.

As conclusões de Rasmussen et al. (1992) e de Kaskous e Bruckmaier (2011) suportam os nossos resultados que sugerem uma diminuição das chances para qualquer aumento do tempo de latência. Contrariamente os resultados de Watters et al. (2012) apontam para um limiar a partir do qual o prolongamento do intervalo entre a estimulação e a colocação da unidade deixa de promover uma diminuição na bimodalidade, atuando em sentido inverso.

O prolongamento excessivo do intervalo de tempo entre a estimulação e a colocação da unidade pode determinar o refluxo do leite transferido para a cisterna de volta para os alvéolos (Caja et al. 2004). No entanto Caja et al. (2004) registaram este fenómeno 15 minutos após a injeção de ocitocina, e o maior tempo de latência registado neste trabalho foi 342.19 segundos (um pouco menos de 6 minutos).

É importante ter em conta, que 457 (75.4%) das 606 vacas avaliadas no nosso estudo apresentaram um tempo de latência entre 0 e 120 segundos, e apenas em 3.5% dos animais foi igual ou superior a 240 segundos (gráfico 2). Adicionalmente, 102 (68.5%) dos 149 animais cujo tempo de latência foi superior a 120 segundos foram avaliados em explorações cujos procedimentos de estimulação foram executados de forma desfasada, ao contrário dos ensaios supracitados em que a totalidade da estimulação ocorreu no início da ordenha.

O aumento do tempo total de estimulação, no presente estudo, está associado, quer com uma diminuição das chances de ocorrência de ordenha bimodal a nível individual ($P=0.0331$; tabela 6), quer com uma diminuição das chances de uma exploração apresentar uma proporção de bimodalidade elevada ($P=0.02$; tabela 4). Moore-Foster et al. (2019c), em 64 vacarias no Michigan, encontraram a mesma associação que o presente trabalho, entre o tempo total de estimulação médio e a proporção de animais com atraso na ejeção do leite numa exploração.

Wieland, Virkler et al. (2020), compararam num ensaio de campo controlado e aleatorizado uma rotina de ordenha que compreendia limpeza dos tetos e remoção manual dos primeiros jatos, com uma que apenas incluía limpeza dos tetos com um pano seco. O tempo total de estimulação foi superior no grupo sujeito à rotina de ordenha completa (16 segundos) em relação ao grupo em que apenas se procedeu à limpeza dos tetos (7 segundos). Tendo verificado que as chances de bimodalidade eram inferiores em vacas às quais tinham sido removidos os primeiros jatos, o que está de acordo com os nossos resultados. A definição de caso dos estudos, contudo difere - Wieland, Virkler et al. (2020) consideraram uma ordenha como bimodal, quando detetaram um decréscimo no fluxo de leite, medido pelo sistema de ordenha, entre os 30 e os 60 segundos após a colocação da unidade, não tendo esta ainda sido provada como eficaz para detetar bimodalidade.

Watters et al. (2012), quando compararam rotinas de ordenha com e sem remoção de jatos com diferentes tempos de latência, só encontraram uma redução significativa da bimodalidade, com o incremento da estimulação, em vacas com 174 a 428 dias em leite. Já Rasmussen et al. 1992, apenas encontraram uma redução significativa no tempo necessário, para atingir um fluxo de leite estável no coletor após a colocação da unidade de ordenha, com o aumento da estimulação, de 10 para 30 segundos, em Jerseys dinamarquesas. No entanto, foram registadas diminuições numéricas, no tempo para atingir um fluxo estável no coletor, com o aumento da estimulação, nos restantes grupos.

A estimulação táctil dos tetos promove a libertação de ocitocina a partir do lobo posterior da hipófise (Bruckmaier and Blum 1996). O efeito do aumento do tempo de estimulação, na ocorrência de ordenha bimodal, pode ser resultado de uma maior libertação de ocitocina a partir do lobo posterior da hipófise, que por conseguinte promove uma contração mais forte ou de um maior número de células mioepiteliais (Wieland, Virkler, et al. 2020). Contudo, Kaskous e Bruckmaier (2011) não encontraram diferenças significativas na concentração de ocitocina em animais sujeitos a 15, 30 ou 45 segundos de estimulação durante a rotina de ordenha. Porém, no nosso estudo, 424 (70%) das 606 vacas avaliadas foram estimuladas durante menos de 15 segundos (gráfico 1), o que sugere que o aumento do tempo de estimulação entre os 0 e os 15 segundos será mais importante que no intervalo estudado por Kaskous e Bruckmaier (2011), como também se verificou em Wieland, Virkler et al. (2020).

Este estudo encontrou também uma diminuição das chances de uma exploração apresentar uma proporção de bimodalidade elevada, com o aumento do número de passagens durante a preparação do úbere. Sandrucci et al. (2007) encontraram uma percentagem de bimodalidade significativamente inferior em vacas sujeitas a uma preparação completa do úbere (pré-dip, limpeza dos tetos e remoção dos primeiros jatos), não especificando, todavia, se estes procedimentos foram realizados em passagens diferentes.

Entre as explorações incluídas no presente estudo, todas as explorações que realizaram 4 passagens e 3 (30%) das 10 explorações que executaram 3 passagens durante a rotina pré-ordenha apresentaram uma preparação completa. Alternativamente, nenhuma das explorações que realizou 1 ou 2 passagens durante a rotina de ordenha realizou uma preparação completa do úbere, o que pode explicar a associação encontrada.

Adicionalmente, registou-se uma correlação entre o número de passagens e o tempo médio de latência (coeficiente de correlação de Spearman: 0.6, $P=0.004$), o que indica que as explorações que realizaram os procedimentos de forma desfasada apresentaram um maior tempo de latência entre a estimulação e a colocação. O efeito de prolongamento do tempo de latência pode explicar a diminuição na proporção de bimodalidade registada.

Por outro lado, Moore-Foster et al. (2019c), reportaram um aumento na proporção de animais com atraso na descida do leite devido ao aumento do número de passagens. Esta associação foi considerada pelos autores como paradoxal, tendo especulado que as explorações que realizaram menos passagens durante a rotina de ordenha poderiam ter colocado um maior foco na estimulação durante a primeira passagem.

Por fim, verificou-se também neste trabalho, uma tendência ($P=0.0987$; tabela 4) que aponta para uma menor chance de uma exploração que realiza duas ordenhas apresentar uma elevada proporção de bimodalidade, quando comparada a uma que realiza três ordenhas diárias.

O grau de preenchimento do úbere, que determina o tempo necessário para que ocorra a descida do leite após a estimulação, aumenta com o tempo decorrido desde a última ordenha (Bruckmaier and Hilger 2001). A realização de 3 ordenhas diárias implica a existência de intervalos entre ordenhas mais curtos, logo com um potencial menor grau de preenchimento do úbere e um maior intervalo de tempo entre a estimulação e a descida do leite, situação que pode explicar a tendência encontrada.

7.2. Sobreordenha

Entre as 606 vacas cujo registo gráfico de vácuo foi avaliado, o tempo mediano de sobreordenha foi 59 segundos, tendo se verificado que em média 77.1% (IC95%: 73.7% a 80.4%) dos animais de cada exploração foram sujeitos a mais de 30 segundos de sobreordenha. Estes foram valores mais elevados que os reportados por Moore-Foster et al. (2019b), que registaram, em 3824 vacas de 64 explorações, um tempo mediano de sobreordenha de 47 segundos, e em média 55% das vacas avaliadas com o VaDia sujeitas a mais de 30 segundos de sobreordenha. Este foi o único trabalho encontrado cujos resultados são comparáveis aos do presente trabalho, visto que a definição de início da sobreordenha é a mesma, e em ambos foi utilizado o vácuo como forma indireta de avaliação do fluxo de leite.

No que respeita a associação entre a sobreordena e a paridade, o presente trabalho verificou que a duração do período de sobreordena é significativamente inferior em primíparas ($P < 0.0001$; tabela 7).

Tancin et al. (2006) e Sandrucci et al. (2007) quando, com recurso a Lactocorder, avaliaram o fluxo de leite de vacas em diferentes fases da lactação e com diferentes paridades, verificaram que a duração da fase declinada do fluxo de leite do úbere de vacas primíparas, quando comparada com a de múltiparas era significativamente inferior. Adicionalmente, Tancin et al. (2006) também verificaram que os quartos mamários de vacas primíparas apresentaram período de sobreordena (fluxo inferior a 75 gramas por minuto) significativamente mais curto.

Isto significa que durante a primeira lactação, o fluxo de leite atinge um valor de 300 gramas por minuto mais rapidamente, algo que pode ser resultado do fluxo máximo e da produção de leite serem inferiores (Sandrucci et al. 2007). Assim a redução do tempo de sobreordena na primeira lactação, encontrada neste estudo, pode ser fruto desses animais atingirem o fluxo de leite que aciona o retirador automático (em média 445 g/min nas explorações em estudo) mais cedo. O efeito da paridade captado pelo modelo resulta essencialmente de primíparas ordenhadas em modo automático, uma vez que estas representam 145 (84%) das 173 primíparas incluídas no modelo.

A associação encontrada entre a recolocação da unidade de ordenha após a ativação do retirador automático e o aumento do tempo em sobreordena ($P = 0.0091$; tabela 7) não foi reportada em estudos anteriores. Moore-Foster et al. (2019c) refere a recolocação como um potencial fator de risco de sobreordena não tendo, porém, encontrado qualquer associação entre a proporção de recolocações numa exploração e o tempo mediano em sobreordena. Algo que se pode ter devido à baixa frequência de recolocações nas explorações e ao facto de animais sujeitos a recolocação serem *outliers*, logo, não refletidos pelo tempo mediano em sobreordena.

Quando a unidade de ordenha é recolocada, o sistema durante um intervalo de tempo pré-determinado não aciona o retirador automático, independentemente do fluxo de leite. Entre os animais ordenhados em modo automático não sujeitos a recolocação, 355 (73%) de 490 foram sujeitos a pelo menos 30 segundos de sobreordena e apenas 3 (0.6%) não estiveram qualquer segundo em sobreordena. Estes dados indicam que de um modo geral, nestas explorações, quando o retirador automático é acionado os animais já estiveram em sobreordena. O tempo de vácuo forçado após uma recolocação vai, portanto, conduzir necessariamente a mais sobreordena.

A recolocação de uma unidade de ordenha após a remoção automática é uma ação levada a cabo pelo ordenhador, implicando necessariamente a decisão de que a ordenha ocorreu de forma incompleta. A completude da ordenha é geralmente aferida por parte dos

ordenhadores através da observação e palpação do úbere, ou remoção manual de alguns jatos. O presente estudo indica que estes critérios são subjetivos e inadequados, conduzindo a sobreordenha.

A utilização do modo de ordenha manual, em detrimento do modo automático está associada a um marcado aumento do tempo em sobreordenha ($P < 0.0001$; tabela 7). Este achado está de acordo com um estudo observacional realizado numa exploração leiteira, em Ítaca. Os investigadores encontram uma associação entre a utilização do modo manual e o aumento do tempo de ordenha total, assim como do tempo com fluxo de leite inferior a 1kg (Wieland et al. 2017).

Na ordenha em modo automático, o fim de ordenha é determinado pelo fluxo de leite. Após ser atingido um fluxo pré-definido o retirador automático é acionado, cortando o vácuo e recolhendo a unidade. Por outro lado, no modo manual o fim de ordenha é determinado pelo ordenhador, sendo este o responsável pela remoção da unidade de ordenha. O modo manual é utilizado quando uma sala de ordenha não dispõe de retiradores automáticos, ou por opção do ordenhador.

Na ordenha em modo manual, os ordenhadores avaliam, periodicamente, o fluxo de leite no coletor ou no medidor de fluxo, caso exista, e decidem quando remover a unidade. O aumento da sobreordenha é provavelmente fruto da subjetividade e imprecisão desta avaliação, aliadas à crença de que a ordenha a fundo previne a ocorrência de mastites. Levando a que os ordenhadores apenas removam a unidade de ordenha depois de algum tempo sem qualquer fluxo de leite, prolongando o tempo em sobreordenha.

Adicionalmente, em salas sem retiradores automáticos a realização de múltiplas tarefas pelos ordenhadores poderá desempenhar um papel adicional no agravamento da sobreordenha. Neste cenário às tarefas de condução dos animais para os pontos de ordenha, preparação dos úberes e colocação da unidade é somada a remoção da unidade de ordenha. A necessidade de realizar as restantes tarefas pode conduzir a um prolongamento excessivo do tempo decorrido entre avaliações do fluxo de leite no coletor levando, por conseguinte, a um aumento do período de sobreordenha.

Nestas situações, estabelecer um tempo máximo de ordenha pode contribuir para reduzir o tempo de ordenha e diminuir o risco de sobreordenha. Um ensaio realizado na Austrália, constatou uma redução de 34% no tempo de ordenha, sem perdas significativas na produção de leite, com o estabelecimento de um tempo máximo de ordenha. Esta estratégia demonstrou ser a mais eficaz e mais económica para aumentar a capacidade de uma sala de ordenha (Clarke et al. 2004).

Não é possível dizer com fundamento, por que razão um ordenhador coloca uma vaca em modo manual, numa sala com retiradores automáticos. Sendo apenas possível especular que se deverá essencialmente a crenças relativamente infundadas que se desenvolveram

com a sua experiência de trabalho, ou que lhe foram transmitidas durante a sua formação. Um dos preconceitos mais frequentes e enraizados é de que uma ordenha menos completa se traduz num aumento na incidência de mamites (Wieland, Nydam, et al. 2020). Contudo, vários trabalhos têm demonstrado ausência de relação entre o leite presente no úbere no final da ordenha e a incidência de mamites clínicas e subclínicas (Rasmussen 1993; Clarke et al. 2008; Wieland, Nydam, et al. 2020).

Ao nível da exploração, registou-se um aumento significativo do tempo mediano em sobreordenha quando se detetaram coletores com a entrada de ar obstruída ($P=0.0387$; tabela 5), não tendo esta associação sido descrita em trabalhos anteriores.

A principal função da entrada de ar no coletor é acelerar o fluxo de leite do coletor para as tubagens do sistema de ordenha e diminuir a densidade da coluna de leite transportada pelo sistema de ordenha (Wiercioch et al. 2016). O Standard ISO 5707:2007 determina que de forma a garantir a estabilidade do vácuo e um fluxo de leite adequado o coletor deve admitir 4-12 litros de ar por minuto (ISO 2007).

A obstrução da entrada de ar dos coletores resulta num aumento das variações cíclicas de vácuo em cerca de 7 kPa e num aumento do nível médio de vácuo em cerca de 1.2 kPa (Thiel et al. 1964; Rasmussen et al. 2006). A instabilidade do vácuo, com aumento excessivo das variações cíclicas de vácuo, determina uma diminuição no fluxo médio de leite e consequentemente da eficiência da ordenha (Schmidt et al. 1964).

Assim, o aumento da sobreordenha em resultado da obstrução da entrada de ar nos coletores, poderá ter sido resultado do deficiente transporte de leite no sistema de ordenha e da instabilidade do vácuo. A desaceleração do fluxo de leite poderá prolongar o tempo necessário para atingir o fluxo de leite que determina o fim da ordenha, e consequentemente o tempo em sobreordenha.

É importante ter em conta que apenas 2 (11%) das 19 explorações incluídas neste modelo linear apresentaram entradas de ar obstruídas e que não foi realizada uma avaliação completa do vácuo. Isto significa, que outros problemas subjacentes, como uma restrição da linha de transferência de leite, podem ter estado presentes, com impacto no tempo mediano em sobreordenha, e não ter sido detetados.

Por fim, verificou-se neste trabalho uma associação entre o aumento do fluxo a partir do qual a unidade de ordenha pode ser removida numa exploração e a redução do tempo mediano em sobreordenha ($P=0.0011$; tabela 5).

Os retiradores automáticos tiram partido da natureza intrínseca do fluxo de leite durante a ordenha, que decresce após um período de pico de fluxo. Apresentam um período mínimo de ordenha, que permite não serem ativados durante a fase inclinada, e o fluxo de retirada e o tempo de vácuo forçado são selecionado para o retirador ser acionado na fase declinada (Stewart et al. 2002; Tančin et al. 2006; Krawczel et al. 2017). O tempo de vácuo

forçado corresponde ao intervalo de tempo durante o qual o fluxo de leite se deve manter abaixo do fluxo de retirada, para que a unidade seja removida (Stewart et al. 2002).

Sete ensaios controlados aleatorizados, em sistemas de ordenha mecânica convencional, corroboram os resultados do presente estudo. Estes trabalhos compararam fluxos de retirada de 200 e 400 g/min (Rasmussen 1993; Jago et al. 2010); fluxos de 200, 400, 600 e 800 g/min (Edwards et al. 2013a; Edwards et al. 2013b); fluxos de retirada de 480, 600 e 800 g/min (Magliaro and Kensinger 2005); fluxos de retirada de 500 e 640 g/min (1 exploração) e de 730 e 820 g/min (3 explorações) (Stewart et al. 2002), sendo que o estudo mais recente comparou fluxos de retirada de 800 e 1200 g/min (Wieland, Nydam, et al. 2020).

Todos reportaram uma redução significativa do tempo de ordenha individual (Rasmussen 1993; Stewart et al. 2002; Magliaro and Kensinger 2005; Jago et al. 2010; Edwards et al. 2013a; Edwards et al. 2013b; Besier and Bruckmaier 2016; Krawczel et al. 2017; Wieland, Nydam, et al. 2020). À exceção de dois estudos que constataram uma diminuição significativa na produção de leite (Magliaro and Kensinger 2005; Jago et al. 2010) e de Stewart et al. (2002) que relatou um aumento de produção de leite em duas das cinco explorações incluídas no estudo, os restantes trabalhos não detetaram diferenças significativas na produção de leite nas vacas sujeitas a fluxos de retirada mais elevados (Rasmussen 1993; Edwards et al. 2013a; Edwards et al. 2013b; Wieland, Nydam, et al. 2020). Adicionalmente Wieland, Nydam et al. (2020) registaram uma diminuição no tempo de ordenha com fluxo de leite inferior a 1kg/min no grupo sujeito a um fluxo de retirada de 1200 g/min. Também Besier e Bruckmaier (2016) com base num trabalho de simulação do fluxo de leite determinaram que um fluxo de retirada de 1000g/min não se traduzia em qualquer perda na produção de leite.

Embora em nenhum destes trabalhos tenham sido obtidas curvas de fluxo de leite individual, a subida do fluxo de retirada provavelmente resultou no corte do vácuo durante um momento mais precoce da fase declinada do fluxo de leite do úbere (Edwards et al. 2013b). A diminuição do tempo de ordenha individual, sem redução na produção de leite, registada na maioria dos trabalhos de investigação, aponta para uma redução da sobreordenha.

Verifica-se também, com base nos ensaios supracitados, uma tendência da indústria leiteira moderna para adotar valores cada vez mais elevados no que respeita ao fluxo que determina o fim na ordenha. Esta tendência é reforçada por vários trabalhos de investigação recentes realizados em explorações que utilizavam fluxos de retirada de 1100 g/min (Erskine et al. 2019) ou mesmo 1300 g/min (Wieland et al. 2017; Melvin et al. 2019).

Nas 19 explorações com retiradores automáticos incluídas neste estudo o fluxo de retirada médio e medianos registados foram, respetivamente, 445 e 400g/min, muito inferiores ao registado nos EUA. Esta diferença pode ajudar a explicar o elevado nível de sobreordenha

em Portugal, apresentando-se como uma das principais oportunidades de melhoria identificadas.

Não existe um Standard da International Standardization Organization que defina como ajustar o tempo de vácuo forçado e o fluxo de retirada dos retiradores automáticos. Algumas publicações sugerem ajustes graduais, na ordem dos 100 g/minuto para o fluxo de retirada, ou 2 segundos para o tempo de vácuo forçado a cada 2 semanas de forma a permitir a adaptação dos animais (Stewart et al. 2002; Rasmussen 2004).

O presente trabalho encontrou também uma tendência de diminuição do tempo em sobreordena com o aumento do número de dias em leite ($P=0.0596$; tabela 7). Tancin et al. (2006) e Sandrucci et al. (2007) identificaram uma redução da duração da fase declinada do fluxo de leite e do valor máximo desse mesmo fluxo com o avanço da lactação. Assim, é possível que os animais numa fase mais avançada da lactação atinjam mais cedo o fluxo que determina o fim da ordenha, e, por conseguinte, estejam menos tempo em sobreordena.

7.3. Leite ordenhado

Como seria expectável, registou-se uma associação entre a produção de leite por ordenha e a paridade ($P<0.0001$; tabela 9), assim como com o número de dias em leite ($P<0.0001$; tabela 9). Verificando-se uma maior produção de leite por ordenha em múltiparas e uma quebra na produção de leite com o aumento do número de dias em lactação. Ambas as associações estão amplamente descritas em publicações anteriores (Keown et al. 1986; Tančin et al. 2006; Sandrucci et al. 2007; Samoré et al. 2011; Erskine et al. 2019).

Adicionalmente, verificou-se uma interação entre as variáveis independentes dias em leite e paridade ($P<0.0001$), que se traduziu numa maior persistência da lactação em primíparas, fenómeno também descrito em trabalhos de investigação prévios (Keown et al. 1986).

A produção de leite depende da quantidade de células secretoras de leite presentes na glândula mamária, da sua capacidade de síntese e da sua substituição ao longo da lactação (Wilde and Knight 1989). O pico de produção de leite é atingido no início da lactação, por volta do 2^a mês, fruto do aumento da atividade de síntese e secreção de leite por parte das células epiteliais. A diminuição da produção de leite ao longo da lactação é essencialmente resultado da perda de células secretoras no tecido alveolar. A taxa de apoptose diária corresponde a 0.56% enquanto a taxa de proliferação se encontra nos 0.3%, o que determina uma perda gradual na massa celular (Capuco et al. 2003).

A gestação pode também, caso ocorra, desempenhar um papel na quebra de produção de leite registada ao longo da lactação, fruto do efeito inibitório do estrogénio, produzido pela unidade fetoplacentária, na secreção de leite (Bachman et al. 1988).

A idade ao primeiro parto é um importante fator associado à rentabilidade da vaca ao longo da sua vida produtiva, encontrando-se a idade ideal entre os 22 e os 24 meses (Do et al. 2013). Porém, estes animais não completaram o seu desenvolvimento, que ocorre até ao final da segunda lactação. Consequentemente, parte dos nutrientes ingeridos é alocada ao seu próprio crescimento (Coffey et al. 2006), não estando esta fração disponível para a produção de leite. Este facto, aliado a uma menor quantidade de tecido secretor na glândula mamária (Knight and Wilde 1993), explica a diferença na produção de leite em primíparas e multíparas (Wathes et al. 2007).

A diminuição no leite ordenhado associada à ocorrência de ordenha bimodal ($P < 0.0001$; tabela 9) foi também recentemente reportada por Erskine et al. (2019). Este trabalho também recorreu à avaliação do registo gráfico digital de vácuo como forma de avaliação indireta do fluxo de leite e da presença ou não de bimodalidade. No entanto, ao contrário do presente trabalho todas as vacas foram avaliadas na mesma exploração, o que potencialmente minimiza a variação associada à componente genética da bimodalidade e da produção de leite (Samoré et al. 2011). Contudo, a variação associada à exploração está incluída nos efeitos aleatórios do modelo, e em todas as explorações englobadas neste estudo predomina a genética Holstein.

A perda de leite associada à ordenha bimodal poderá ser resultado da elevação do vácuo na câmara do bucal no início da ordenha nestes animais (Erskine et al. 2019). A ausência ou diminuição de fluxo de leite após a remoção do leite cisternal, promove o colapso da parede do teto no interior da tetina (Mein, Thiel, and Akam 1973), com elevação do vácuo na câmara do bucal (Borkhus and Rønningen 2003). A redução das forças de atrito entre a parede do teto e o corpo da tetina, e o aumento do vácuo na câmara do bucal promovem a penetração de tecido junto à base do teto no bucal, com resultante constrição e possível oclusão parcial da comunicação entre a cisterna da glândula e a cisterna do teto (Mein, Thiel, Westgarth, et al. 1973; Borkhus and Rønningen 2003). De forma complementar, a elevação do vácuo na câmara do bucal promove a congestão do teto e a redução da área transversal do canal do teto (Penry et al. 2017) que por sua vez resulta numa diminuição do fluxo de leite (Williams et al. 1981). Assim, o efeito combinado do reposicionamento da unidade de ordenha em combinação com a congestão do teto, provocados pela ausência de fluxo de leite, podem estar por detrás da diminuição do leite ordenhado, numa ordenha bimodal (Erskine et al. 2019).

Contudo, vários ensaios, em que foram comparados diferentes protocolos de estimulação, não encontram diferenças na produção de leite entre os tratamentos durante o período de duração dos mesmos (Weiss and Bruckmaier 2005; Kaskous and Bruckmaier 2011; Watters et al. 2012; Wieland, Virkler, et al. 2020). É importante ter em consideração que nestes trabalhos foram utilizadas diferentes definições de bimodalidade.

Adicionalmente, neste estudo, assim como no de Erskine et al. (2019) apenas foi estudado o efeito da bimodalidade no leite ordenhado durante um único período de ordenha. Ao contrário dos ensaios acima referidos, cujos tratamentos de estimulação foram aplicados durante pelo menos uma semana. O facto do presente trabalho não avaliar o comportamento da produção na ordenha seguinte pode explicar os diferentes resultados.

Outro elemento a ter em conta, é que tanto no presente trabalho, como no de Erskine et al. (2019) foram comparadas as produções das ordenhas bimodais com as ordenhas normais, enquanto nos restantes trabalhos foram comparadas as produções por ordenha de grupos de animais com diferentes incidências de bimodalidade.

7.4. Fluxo médio de leite

O fluxo médio de leite é calculado dividindo o leite ordenhado pelo tempo de ordenha, incluindo recolocações. É uma métrica útil uma vez que reflete as quatro etapas do fluxo de leite, sendo apta para avaliar a adequação dos protocolos pré-ordenha e das predefinições do sistema de ordenha (Stewart et al. 2001).

Neste estudo verificou-se uma associação entre a paridade e o fluxo médio de leite ($P < 0.0001$; tabela 8), com uma redução do fluxo médio de leite em primíparas. Sandrucci et al. (2007) reportaram a mesma associação, e no estudo de Tančin et al. (2006), embora não tenham sido encontradas diferenças estatisticamente significativas, o fluxo médio de leite registado em primíparas foi numericamente inferior. A diferença encontrada é resultado de vacas múltiparas apresentarem uma maior produção de leite por ordenha (Tančin et al. 2006; Sandrucci et al. 2007; Erskine et al. 2019), o que infere diretamente na fórmula de cálculo do fluxo médio de leite. Estes animais apresentam também, um pico de fluxo de leite superior (Sandrucci et al. 2007) que está associado a uma diminuição do tempo total de ordenha (Tančin et al. 2006), o que por conseguinte aumenta o fluxo médio de leite.

O aumento do número de dias em leite, neste estudo, afeta de forma distinta o fluxo médio de leite de múltiparas e primíparas, determinando, nas primeiras, uma diminuição do fluxo médio de leite ($P < 0.0001$, tabela 8). Esta associação já foi descrita noutros trabalhos (Tančin et al. 2006; Sandrucci et al. 2007). Os animais em fases avançadas da lactação apresentam um fluxo máximo de leite inferior, assim como um período de pico de fluxo mais curto. A fase de fluxo de leite decrescente, embora também mais curta, representa, nestas vacas, uma maior proporção do tempo total de ordenha (Tančin et al. 2006). Por conseguinte, o aumento relativo do período menos eficiente da ordenha, aliado a uma redução do período de maior eficiência, resultado da quebra na produção de leite, serão os principais responsáveis pela diminuição do fluxo médio de leite.

Contrariamente, em primíparas, o avanço da lactação dita, apesar de pequeno (0.000218 kg/min), um incremento do fluxo médio de leite (dias em leite*paridade, $P < 0.0001$;

tabela 8). Estas diferenças podem ser resultado do período de adaptação das novilhas à ordenha e das características da curva de lactação destes animais.

Durante as primeiras semanas de lactação, as primíparas são expostas a várias experiências novas associadas ao processo de ordenha, como a interação próxima com o homem (Sutherland and Huddart 2012). O medo do ser humano, associado à colocação destes animais num ambiente desconhecido são fatores de stress, que se traduzem no aumento da frequência cardíaca, do cortisol sanguíneo (Van Reenen et al. 2002) e na inibição central da libertação de ocitocina, com resultante perturbação da descida do leite (Bruckmaier et al. 1992). Adicionalmente, as novilhas no início da lactação, frequentemente pontapeiam, pisam e removem as unidades de ordenha, sendo estes comportamentos agravados por maneio aversivo (Rushen et al. 1999). A combinação destes fatores compromete a eficiência da ordenha no início da lactação, tendo Sutherland e Huddart (2012) verificado um aumento do fluxo médio de leite, em primíparas, após a adaptação ao processo de ordenha, o que está de acordo com os resultados deste trabalho.

Complementarmente as primíparas atingem o pico de produção mais tarde que as múltiparas, verificando-se também uma maior persistência do pico de produção, nestas vacas (Keown et al. 1986). Consequentemente o efeito do aumento dos dias em leite na produção de leite e no fluxo de leite é menos marcado nestes animais.

O aumento do tempo em sobreordenha está associado a uma diminuição do fluxo médio de leite ($P < 0.0001$; tabela 8). O período de sobreordenha ocorre após o período de pico de fluxo, no final da ordenha (Tančin et al. 2006), sendo o fluxo de leite nesta fase diminuto (Rasmussen 2004; Tančin et al. 2006). Logo, o prolongamento do tempo em sobreordenha aumenta o tempo total de ordenha (Moore-Foster et al. 2019b) sem aumentar proporcionalmente o leite ordenhado, diminuindo necessariamente o fluxo médio de leite. Wieland, Nydam et al. (2020), Edwards et al. (2013a,b) e Steward et al. (2002) reportaram um incremento do fluxo médio de leite ao aumentar o fluxo de retirada dos retiradores automáticos. Todos os grupos de investigação atribuem este resultado à antecipação da cessação da ordenha num período de fluxo reduzido, com redução do tempo total de ordenha, sem redução do fluxo de leite, o que está de acordo com os nossos achados.

Foi encontrada também uma associação, entre a ocorrência de ordenha bimodal e a redução do fluxo médio de leite ($P = 0.0002$; tabela 8). Esta associação é concordante com o resultado de múltiplos ensaios (Weiss and Bruckmaier 2005; Kaskous and Bruckmaier 2011; Watters et al. 2012). A forma como a bimodalidade influencia negativamente o fluxo médio de leite, no entanto varia entre trabalhos. Wieland, Nydam, et al. (2020) verificaram com a diminuição da bimodalidade, uma redução do tempo com fluxo inferior a 1 kg/min, um incremento do leite ordenhado nos primeiros dois minutos de ordenha, e uma redução no tempo total de ordenha. Os resultados deste estudo apontam para um aumento do fluxo médio

de leite através da redução do tempo necessário para ordenhar a mesma quantidade de leite. Fenômeno que se verifica em resultado da obtenção de mais leite no início da ordenha e da ausência do período de baixo fluxo de leite entre a remoção do leite cisternal e a descida do leite alveolar.

Porém, Erskine et al. (2019), não encontraram qualquer associação entre a bimodalidade e o tempo total de ordenha, tendo, no entanto, verificado que a primeira se encontra associada a um decréscimo do leite ordenhado. Estes resultados apontam assim para uma redução do fluxo médio de leite através da diminuição do leite ordenhado para o mesmo tempo de ordenha. A resposta será possivelmente uma combinação entre a redução do leite ordenhado e o aumento do tempo total de ordenha.

7.5. Alterações na condição dos tetos

No que respeita as alterações de curto prazo na condição dos tetos, registaram-se em média 78.4% das vacas de cada exploração com uma alteração presente em pelos menos um dos tetos. A exploração onde se registaram menos alterações apresentou 56.2% dos tetos com pelos menos uma alteração detetável imediatamente após a ordenha.

O Teat Club International propõe como nível de alarme para intervenção na exploração a deteção de alterações na cor, na firmeza ou na base dos tetos de mais de 20% das vacas avaliadas (Mein et al. 2001), o que coloca todas as explorações avaliadas, neste estudo, em necessidade de intervenção.

Segundo Mein et al. (2001), a presença de um número excessivo de tetos com este tipo de alterações é resultado de falhas no funcionamento da máquina de ordenha ou maneiio inadequado da ordenha, resultando em sobreordenha, ou longos períodos com fluxo inferior a 1 kg/min.

O nível de vácuo no coletor e as características da pulsação, foram avaliados em todas as explorações incluídas no estudo, tendo-se verificado que as características de todos os sistemas de pulsação estavam de acordo com o Standard 5707:2007: Construction and performance da International Standardization Organization. Da mesma forma, o nível de vácuo no coletor durante o pico de fluxo, registado nas 21 explorações avaliadas, estava em conformidade com as recomendações da ISO e da NMC (ISO 2007; NMC 2012). Desta feita, foram excluídas as principais falhas no funcionamento do sistema de ordenha, que podem justificar um grande número de alterações de curto prazo na condição dos tetos (Hamann et al. 1993; Hamann and Mein 1996).

Assim sendo, é justo assumir que a existência de longos períodos de sobreordenha ou fluxo inferior a 1 kg/min, nas explorações em estudo, está a desempenhar um papel preponderante no elevado número de alterações congestivas. A sobreordenha e a ordenha bimodal estão associadas ao prolongamento do tempo total de ordenha (Moore-Foster et al.

2019b; Wieland, Virkler, et al. 2020), do período com fluxo de leite inferior a 1 kg/minuto (Wieland, Nydam, et al. 2020; Wieland, Virkler, et al. 2020), e por conseguinte ao prolongamento e agravamento das forças mecânicas exercidas pelo vácuo (Bade et al. 2009; Besier and Bruckmaier 2016).

Wieland, Virkler et al. (2020), verificaram uma diminuição das chances de aparecimento de alterações de curto prazo na condição dos tetos, em animais estimulados durante 16 segundos na rotina de ordenha, em comparação com animais estimulados durante apenas 7 segundos. Esta diferença foi resultado da redução significativa da proporção de bimodalidade, nos animais estimulados durante 16 segundos. Um total de 10 (48%) das 21 explorações englobadas neste trabalho apresentaram uma proporção de bimodalidade superior 40%. Tendo em consideração, que no estudo de Wieland, Virkler et al. (2020), 41.5% das vacas sujeitas a 6 segundos de estimulação apresentaram ordenha bimodal, é possível especular que a bimodalidade, detetada em Portugal, esteja a desempenhar um papel importante no aparecimento de alterações de curto prazo na condição dos tetos.

Hillerton et al. (2002), verificaram que à medida que prolongavam o tempo em sobreordenha de 0 para 2 e posteriormente para 5 minutos, o número de tetos com alterações na cor, na consistência e com marcas ou tumefações visíveis na base aumentava significativamente. Também Rasmussen (1993) e Wieland, Nydam et al. (2020), constataram que as chances de uma vaca apresentar pelo menos um teto com uma alteração de curto prazo diminuía com o aumento do fluxo de retirada. Em 50% das vacas avaliadas, neste estudo, verificaram-se pelo menos 60 segundos em sobreordenha, e o fluxo retirada médio entre as 21 explorações foi 445 g/min, o que pode explicar o grande número de alterações de curto prazo detetado.

No que respeita a hiperqueratose da ponta do teto, em média, 33.6% das vacas avaliadas em cada exploração, apresentaram pelo menos um teto com um grau de hiperqueratose igual ou superior a 3. Todas as explorações apresentaram uma percentagem de vacas com grau patológico de hiperqueratose acima de 20%, limiar considerado como aceitável pelo Teat Club International (Mein et al. 2001).

Um estudo de campo, realizado pelo grupo Milk Money da Universidade do Winsconsin, em 56 explorações leiteiras, encontrou em média 23.7% vacas de cada exploração com pelo menos um teto com um grau patológico de hiperqueratose. Porém quase 50% das explorações, no estudo em causa, apresentaram um nível de hiperqueratose inferior ao limite proposto pelo Teat Club International (Bade et al. 2007).

Entre os fatores que determinam o aparecimento de graus exacerbados de hiperqueratose, a forma e dimensão dos tetos e a componente genética (Mein et al. 2001) não foram avaliadas no presente trabalho, pelo que não é possível inferir acerca da sua importância nos animais avaliados. Condições meteorológicas extremamente adversas

(temperaturas negativas) podem também condicionar o agravamento da hiperqueratose nalgumas regiões do globo (Timms et al. 1998; Mein et al. 2001). Contudo, a região sul de Portugal apresenta um clima temperado e as amplitudes térmicas anuais são baixas, quando comparadas ao centro-oeste e ao nordeste americano.

A fase da lactação e a paridade estão também relacionadas com a hiperqueratose da ponta do teto (Neijenhuis et al. 2000), contudo, os animais avaliados nas 21 explorações foram selecionados aleatoriamente e distribuídos de forma igual entre os diferentes parques de ordenha.

O tempo de total de ordenha (Neijenhuis et al. 2000) e o tempo em sobreordenha (Edwards et al. 2013) estão associados ao aparecimento de graus patológicos de hiperqueratose. Rasmussen (1993) verificou uma melhoria no grau de hiperqueratose com o aumento do fluxo de retirada de 200 para 400 g/min. Mein et al. 2001 referem que quando existe um grande número de alterações de curto prazo na condição dos tetos, a presença de graus elevados de hiperqueratose é geralmente resultado de longos períodos de fluxo de leite inferior a 1 kg/min. Por conseguinte é possível assumir que as elevadas prevalências de bimodalidade e sobreordenha identificadas estejam a desempenhar um papel preponderante na deterioração da saúde dos tetos.

A ocorrência de alterações congestivas está associada ao aumento das chances de colonização microbiana do canal do teto (Zecconi et al. 1992) e de infeção intramamária (Zecconi et al. 1996). A congestão do teto provoca dor e inquietação e põe em causa o bem-estar animal durante a ordenha (Hillerton et al. 2002). A presença de graus patológicos de hiperqueratose está também associada à deterioração da saúde do úbere (F. Neijenhuis et al. 2001) e desconforto durante a ordenha (Cerqueira et al. 2018). Desta feita, é fundamental implementar ações nas explorações que visem minimizar o aparecimento destas alterações, garantindo a obtenção de leite de maior qualidade e do bem-estar animal durante o período de ordenha.

7.6 Limitações do estudo e investigações futuras

A primeira e maior limitação deste estudo, é o facto de a avaliação do fluxo de leite ser feita de forma indireta, com recurso à avaliação do vácuo na câmara do bucal e no coletor, não sendo possível determinar, com base no registo gráfico digital de vácuo, um valor concreto de fluxo de leite. Todavia, a mesma metodologia já foi aplicada num grande estudo observacional, realizado no Michigan, e publicado numa revista de referência (Moore-Foster et al. 2019c; Moore-Foster et al. 2019b).

De forma a avaliar a pulsação das unidades de ordenha e o vácuo no coletor, e em razão do VaDia apresentar quatro canais de vácuo, apenas foi possível avaliar o vácuo na câmara do bucal em duas das quatro tetinas. É possível assim, um destes quartos ter um

fluxo de leite significativo, depois de ter sido determinado o início da sobreordena com base na avaliação do registo gráfico de vácuo. Este problema foi parcialmente contornado com o critério estabelecido para o vácuo no coletor, pese embora que algumas vacas possam registar pequenas diferenças no vácuo no coletor entre o período de pico de fluxo e o período de fluxo decrescente (Moore-Foster et al. 2019b)

Uma outra limitação deste trabalho, é o número de observações individuais por exploração ter sido determinado pelo número de animais em ordenha e pelo número de pontos de ordenha. Consequentemente, explorações com um baixo número de vacas por ponto de ordenha poderão ter sido subavaliadas. Este problema poderia ter sido contornado pela aquisição de mais VaDias, porém o custo do equipamento não o permitiu.

A inclusão de mais explorações no estudo também teria sido desejável, contudo a recolha de dados foi iniciada em março de 2020, e os constrangimentos impostos pela Covid-19 levaram várias explorações a limitar o número de visitantes nas suas instalações.

Neste estudo apenas foi avaliado o impacto da bimodalidade no leite ordenhado, numa ordenha por exploração. Seria importante entender qual a repercussão da bimodalidade na produção leiteira, ao longo de ordenhas sucessivas durante um período alargado.

Este estudo debruçou-se mais sobre a eficiência do processo de ordenha (desde a colocação da unidade até à remoção da mesma) tendo sido ignorada a duração da preparação do úbere e a sua influência no *turnover* da sala. Será importante perceber qual influência do acréscimo na eficiência de ordenha, devido ao incremento da estimulação ou do período de latência durante a preparação, na duração total da ordenha.

Embora existam cada vez mais evidências que suportam a adoção de fluxos de retirada elevados, existe pouca informação em relação ao seu efeito, em especial na saúde do úbere ao longo da lactação.

8. Conclusão

A avaliação dinâmica de vácuo, com recurso ao VaDia, neste estudo, demonstrou-se uma ferramenta útil para comprovar a adequação dos procedimentos da rotina de ordenha e o bom funcionamento da sala de ordenha, permitindo ao utilizador realizar outras apreciações (cronometragens, classificação da condição dos tetos, apreciação da higiene dos animais) durante o processo.

A avaliação dos registos gráficos de vácuo revelou uma elevada proporção de bimodalidade e de sobreordena, nas explorações do sul de Portugal. A falta de estimulação e a colocação precoce das unidades de ordenha parecem ser os principais fatores responsáveis pelos valores de bimodalidade registados. Por sua vez, a utilização do modo de ordenha manual e a utilização de fluxos de retirada baixos parecem assumir um papel preponderante no nível de sobreordena identificado.

As características individuais da vaca mostraram-se variáveis relevantes no que respeita o fluxo médio de leite, o tempo em sobreordena e a ocorrência de ordenha bimodal. À luz destes resultados poderá ser vantajoso separar os animais em grupos de ordenha com base na fase da lactação e na paridade de forma a aumentar a eficiência da utilização da sala de ordenha e assegurar um maior número de animais ordenhados por hora.

A preparação do úbere foi determinante para prevenir a ocorrência de ordenha bimodal. O aumento do tempo dispendido na estimulação dos tetos e o desfasamento dos procedimentos realizados durante a rotina de ordenha, evidenciaram-se fundamentais para a redução da proporção de bimodalidade na exploração. A redução da bimodalidade tem o potencial de aumentar o fluxo de leite e potencialmente maximizar o leite ordenhado por turno de ordenha.

A utilização do modo manual e a recolocação da unidade de ordenha, após o retirador automático ser acionado, são práticas que se traduzem no aumento do tempo em sobreordena, pelo que são desaconselhadas. A adoção de fluxos de retirada mais elevados foi uma das principais oportunidades de redução da sobreordena identificadas. A redução da sobreordena aumenta a eficiência da ordenha e por conseguinte pode aumentar a número de animais ordenhados no mesmo intervalo de tempo.

A percentagem de alterações de curto e longo prazo registadas nas explorações incluídas no estudo são provavelmente reflexo de longos períodos com fluxo de leite inferior a 1 kg. A correção destas alterações é desejável uma vez que a sua presença pode pôr em causa a saúde do úbere e o bem-estar animal.

9. Bibliografia

- Akers RM. 2002. Lactation and the Mammary Gland. 1st ed. Ames, IA: Iowa State Press.
- Ambord S, Bruckmaier RM. 2010. Milk flow-dependent vacuum loss in high-line milking systems: Effects on milking characteristics and teat tissue condition. *J Dairy Sci.* doi:10.3168/jds.2010-3059.
- Ardran GM, Kemp FH, Clough PA, Dodd FH. 1958. Cineradiographic observations on machine milking. *J Dairy Res.* 25(2):154–158. doi:10.3168/jds.s0022-0302(60)90182-x.
- Ayadi M, Caja G, Such X, Knight CH. 2003. Use of ultrasonography to estimate cistern size and milk storage at different milking intervals in the udder of dairy cows. *J Dairy Res.* 70(1):1–7. doi:10.1017/S0022029902005873.
- Bachman KC, Hayen MJ, Morse D, Wilcox CJ. 1988. Effect of Pregnancy , Milk Yield, and Somatic Cell Count on Bovine Milk Fat Hydrolysis. *J Dairy Sci.* 71(4):925–931. doi:10.3168/jds.S0022-0302(88)79638-1.
- Bade R, Hohmann K, Pantoja J, Zucali M, Ruegg PL, Reinemann DJ. 2007. Survey of Milking Facilities, Management, and Performance on Wisconsin and Italian Dairy Farms. In: Sixth International ASABE Dairy Housing Conference, Minneapolis, Minnesota, USA,

16-18 June 2007.

- Bade RD, Reinemann DJ, Zucali M, Ruegg PL, Thompson PD. 2009. Interactions of vacuum, b-phase duration, and liner compression on milk flow rates in dairy cows. *J Dairy Sci.* 92(3):913–921. doi:10.3168/jds.2008-1180.
- Bar-Pelled U, Maltz E, Bruckental I, Folman Y, Kali Y, Gacitua H, Lehrer AR, Knight CH, Robinson B, Voet H, et al. 1995. Relationship Between Frequent Milking or Suckling in Early Lactation and Milk Production of High Producing Dairy Cows. *J Dairy Sci.* 78(12):2726–2736. doi:10.3168/jds.S0022-0302(95)76903-X.
- Belo CJ, Bruckmaier RM. 2010. Suitability of low-dosage oxytocin treatment to induce milk ejection in dairy cows. *J Dairy Sci.* 93(1):63–69. doi:10.3168/jds.2009-2084.
- Besier J, Bruckmaier RM. 2016. Vacuum levels and milk-flow-dependent vacuum drops affect machine milking performance and teat condition in dairy cows. *J Dairy Sci.* 99(4):3096–3102. doi:10.3168/jds.2015-10340.
- Besier J, Lind O, Bruckmaier RM. 2016. Dynamics of teat-end vacuum during machine milking : types , causes and impacts on teat condition and udder health – a literature review. *J Appl Anim Res.* 44:263–272. doi:10.1080/09712119.2015.1031780.
- Biocontrol. 2011. VaDia Suite User Manual v3.7. Rakkestad, Norway.
- Borkhus M, Rønningen O. 2003. Factors affecting mouthpiece chamber vacuum in machine milking. *J Dairy Res.* 70(3):283–288. doi:10.1017/S0022029903006253.
- Bruckmaier RM. 2017. Large Dairy Herd Management. In: Beed DK, editor. Large Dairy Herd Management. American Dairy Science Association. p. 841–851.
- Bruckmaier RM, Blum JW. 1996. Simultaneous recording of oxytocin release, milk ejection and milk flow during milking of dairy cows with and without prestimulation. *J Dairy Res.* 63(2):201–208. doi:10.1017/s0022029900031708.
- Bruckmaier RM, Blum JW. 1998. Oxytocin Release and Milk Removal in Ruminants. *J Dairy Sci.* 81(4):939–949. doi:10.3168/jds.S0022-0302(98)75654-1.
- Bruckmaier RM, Hilger M. 2001. Milk ejection in dairy cows at different degrees of udder filling. *J Dairy Res.* 68(3):369–376. doi:10.1017/S0022029901005015.
- Bruckmaier RM, Schams D, Blum JW. 1992. Aetiology of disturbed milk ejection in parturient primiparous cows *. *J Dairy Res.* 59(4):479–489. doi:10.1017/s002202990002714x.
- Bruckmaier RM, Schams D, Blum JW. 1993. Milk removal in familiar and unfamiliar surroundings: concentrations of oxytocin, prolactin, cortisol and B-endorphin. *J Dairy Res.* 60(4):449–456. doi: 10.1017/s0022029900027813
- Bruckmaier RM, Schams D, Blum JW. 1994. Continuously elevated concentrations of oxytocin during milking are necessary for complete milk removal in dairy cows. *J Dairy Res.* 61(3):323–334. doi:10.1017/S0022029900030740.
- Caja G, Ayadi M, Knight CH. 2004. Changes in Cisternal Compartment Based on Stage of Lactation and Time Since Milk Ejection in the Udder of Dairy Cows. *J Dairy Sci.* 87(8):2409–2415. doi:10.3168/jds.S0022-0302(04)73363-9.

- Capuco A V, Ellis SE, Hale SA, Long E, Erdman RA, Zhao X, Paape MJ. 2003. Lactation persistency: Insights from mammary cell proliferation studies. *J Anim Sci.* 81(3):18–31. doi: 10.2527/2003.81suppl_318x
- Cerqueira JL, Araújo JP, Cantalapiedra J. 2018. How is the association of teat-end severe hyperkeratosis on udder health and dairy cow behavior? *Rev Med Vet (Toulouse).* 169(1–3):30–37.
- Chang W, Barry MC, Jones LR, Merrill WG. 1992. Compares: A Computerized Milking Parlor Evaluation System. *J Dairy Sci.* 75(9):2578–2586. doi:10.3168/jds.S0022-0302(92)78020-5.
- Clarke T, Cuthbertson EM, Greenall RK, Hannah MC, Jongman E, Shoesmith D. 2004. Milking regimes to shorten milking duration. *J Dairy Res.* 71(4):419–426. doi:10.1017/S0022029904000421.
- Clarke T, Cuthbertson EM, Greenall RK, Hannah MC, Shoesmith D. 2008. Incomplete milking has no detectable effect on somatic cell count but increased cell count appears to increase strip yield. *Aust J Exp Agric.* 48(9):1161–1167. doi:10.1071/EA07259.
- Coffey MP, Hickey J, Brotherstone S. 2006. Genetic Aspects of Growth of Holstein-Friesian Dairy Cows from Birth to Maturity. *J Dairy Sci.* 89(1):322–329. doi:10.3168/jds.S0022-0302(06)72097-5.
- Crowley WR, Armstrong WE. 1992. Neurochemical regulation of oxytocin secretion in lactation*. *Endocr Rev.* 13(1):33–65. doi:10.1210/edrv-13-1-33.
- Do C, Wasana N, Cho K, Choi Y, Choi T. 2013. The Effect of Age at First Calving and Calving Interval on Productive Life and Lifetime Profit in Korean Holsteins. *Asian Australas J Anim Sci.* 26(11):1511–1517. doi:10.5713/ajas.2013.13105.
- Dodenhoff J, Sprengel D, Duda J, Dempfle L. 1999. Studies on genetic evaluation of udder health using the LactoCorder. *Zuchtungskunde.* 71(6):459–472.
- Edmonson P, Blowey R. 2010. *Mastitis Control in Dairy Herds.* 2nd ed. Cambridge: CAB International.
- Edwards JP, Brien BO, Lopez-Villalobos N, Jago JG. 2013. Overmilking causes deterioration in teat-end condition of dairy cows in late lactation. *J Dairy Res.* 80(3):344–348. doi:10.1017/S0022029913000307.
- Edwards JP, Jago JG, Lopez-Villalobos N. 2013a. Milking efficiency for grazing dairy cows can be improved by increasing automatic cluster remover thresholds without applying premilking stimulation. *J Dairy Sci.* 96(6):3766–3773. doi:10.3168/jds.2012-6394.
- Edwards JP, Jago JG, Lopez-Villalobos N. 2013b. Short-term application of prestimulation and increased automatic cluster remover threshold affect milking characteristics of grazing dairy cows in late lactation. *J Dairy Sci.* 96(3):1886–1893. doi:10.3168/jds.2012-6191.
- Eric Hillerton J, Ohnstad I, Baines JR, Leach KA. 2000. Changes in cow teat tissue created by two types of milking cluster. *J Dairy Res.* 67(3):309–317. doi:10.1017/S0022029900004283.
- Erskine RJ, Norby B, Neuder LM, Thomson RS. 2019. Decreased milk yield is associated with delayed milk ejection. *J Dairy Sci.* 102(7):6477–6484. doi:10.3168/jds.2018-16219.

- Ferdowsi H. 2013. Histological Study on the Sensory Receptors of the Teat Skin in Sarabi Cattle. *Int J Sci Basic Appl Res.* 2(August):274–277.
- Findlay A. 1966. Sensory Discharges from Lactating Mammary Glands. *Nature.* 211:1183–1184. doi:10.1038/2111183a0.
- Gorewit RC, Gassman KB. 1985. Effects of Duration of Udder Stimulation on Milking Dynamics and Oxytocin Release. *J Dairy Sci.* 68(7):1813–1818. doi:10.3168/jds.S0022-0302(85)81031-6.
- Grindal RJ, Walton AW, Hillerton JE. 1991. Influence of milk flow rate and streak canal length on new intramammary infection in dairy cows. *J Dairy Res.* 58(4):383–388. doi:10.1017/S0022029900029988.
- Hamann J, Mein GA. 1988. Responses of the bovine teat to machine milking : measurement of changes in thickness of the teat apex. *J Dairy Res.* 55(3):331–338. doi:10.1017/S0022029900028582.
- Hamann J, Mein GA. 1990. Measurement of machine-induced changes in thickness of the bovine teat. *J Dairy Res.* 57(4):495–505. doi:10.1017/S002202990002954X
- Hamann J, Mein GA. 1996. Teat thickness changes may provide biological test for effective pulsation. *J Dairy Res.* 63(2):179–189. doi:10.1017/S002202990003168X
- Hamann J, Mein GA, Wetzel S. 1993. Teat Tissue Reactions to Milking : Effects of Vacuum Level. *J Dairy Sci.* 76(4):1040–1046. doi:10.3168/jds.S0022-0302(93)77432-9.
- Hansen MN. 1999. Optimal Number of Clusters per Milker. *J Agric Eng Res.* 72(4):341–346. doi:10.1006/jaer.1998.0377.
- Heinze G, Dunkler D. 2017. Five myths about variable selection. *Transpl Int.* 30:6–10. doi:10.1111/tri.12895.
- Hillerton JE, Pankey JW, Pankey P. 2002. Effect of over-milking on teat condition. *J Dairy Res.* 69(1):81–84. doi:10.1017/S0022029901005386.
- Holmes B, Cook N, Funk T, Graves R, Kammel D, Reinemann DJ, Zulovich JM. 2013. Dairy freestall housing and equipment. 8th editio. Moore J, editor. Ames, IA: MidWest Plan Service (MWPS).
- Instituto Nacional de Estatística. 2016. Estatísticas da Produção e Consumo de Leite 2015. www.ine.pt.
- ISO. 2007. Milking machine installations: Construction and performance. Standard 5707:2007(E). 3rd ed. Geneva, Switzerland: International Organization for Standardization.
- Jago JG, Burke JL, Williamson JH. 2010. Effect of automatic cluster remover settings on production, udder health, and milking duration. *J Dairy Sci.* 93(6):2541–2549. doi:10.3168/jds.2009-2949. doi:10.3168/jds.2009-2949.
- Kaskous S, Bruckmaier RM. 2011. Best combination of pre-stimulation and latency period duration before cluster attachment for efficient oxytocin release and milk ejection in cows with low to high udder-filling levels. *J Dairy Res.* 78(1):97–104.

doi:10.1017/S0022029910000816.

- Keown JF, Everett RW, Empet NB, Wadell LH. 1986. Lactation Curves. *J Dairy Sci.* 69(9):769–781. doi:10.3168/jds.S0022-0302(86)80466-0.
- Knight CH, Hirst D, Dewhurstf RJ. 1994. Milk accumulation and distribution in the bovine udder during the interval between milkings. *J Dairy Res.* 61(2):167–177. doi:10.1017/S0022029900028181.
- Knight CH, Wilde CJ. 1993. Mammary cell changes during pregnancy and lactation. *Livest Prod Sci.* 35(1–2):3–19. doi:10.1016/0301-6226(93)90178-K.
- Krawczel P, Ferneborg S, Wiking L, Dalsgaard TK, Gregersen S, Black R, Larsen T, Agenäs S, Svennersten-Sjaunja K, Temman E. 2017. Milking time and risk of over-milking can be decreased with early teat cup removal based on udder quarter milk flow without loss in milk yield. *J Dairy Sci.* 100(8):6640–6647. doi:10.3168/jds.2016-12312.
- Linzell J. 1955. Some Observations on the Contractile Tissue of the Mammary Gland. *J Physiol.* 130(2):257–267. doi:10.1113/jphysiol.1955.sp005408.
- Macuhova J, Tančin V, Bruckmaier RM. 2003. Oxytocin release , milk ejection and milk removal in a multi-box automatic milking system. *Livest Prod Sci.* 81(2–3):139–147. doi: 10.1016/S0301-6226(02)00304-4.
- Magliaro AL, Kensinger RS. 2005. Automatic cluster remover setting affects milk yield and machine-on time in dairy cows. *J Dairy Sci.* 88(1):148–153. doi:10.3168/jds.S0022-0302(05)72672-2.
- Mein GA. 2012. The role of the milking machine in mastitis control. *Vet Clin North Am - Food Anim Pract.* 28(2):307–320. doi:10.1016/j.cvfa.2012.03.004.
- Mein GA, Neijenhuis F, Morgan WF, Reinemann DJ, Hillerton JE, Baines JR, Ohnstad I, Rasmussen MD, Timms LL, Britt JS, et al. 2001. Evaluation of bovine teat condition in commercial dairy herds: 1. non-infectious factors. In: 2nd International Symposium on Mastitis and Milk Quality, Vancouver, Canada. p. 347–351.
- Mein GA, Reinemann DJ. 2009. Biomechanics of Milking: Teat - Liner Interactions. In: American Society of Agricultural and Biological Engineers Annual International Meeting 2009, ASABE 2009. Reno, Nevada.
- Mein GA, Reinemann DJ. 2015. *Machine Milking: Volume One.* 1st ed. Amazon Books.
- Mein GA, Thiel CC, Akam DN. 1973. Mechanics of the teat and teatcup liner during milking: information from radiographs. *J Dairy Res.* 40(2):179–189. doi:10.1017/S0022029900014503
- Mein GA, Thiel CC, Westgarth DR, Fulford RJ. 1973. Friction between the teat and teatcup liner during milking. *J Dairy Res.* 40(2):191–206. doi:10.1017/S0022029900014515.
- Mein GA, Williams DM, Thiel CC. 1987. Compressive load applied by the teatcup liner to the bovine teat. *J Dairy Res.* 54(3):327–337. doi:10.1017/S0022029900025504.
- Melvin JM, Heuwieser W, Virkler PD, Nydam D V, Wieland M. 2019. Machine milking–induced changes in teat canal dimensions as assessed by ultrasonography. *J Dairy Sci.* 102(3):2657–2669. doi:10.3168/jds.2018-14968.

- Moore-Foster R, Norby B, Schewe RL, Thomson R, Bartlett PC, Erskine RJ. 2019a. Herd-level variables associated with premilking stimulation time in Michigan dairy herds. *J Dairy Sci.* 102(3):2544–2550. doi:10.3168/jds.2018-14943.
- Moore-Foster R, Norby B, Schewe RL, Thomson R, Bartlett PC, Erskine RJ. 2019b. Short communication: Herd-level variables associated with overmilking in Michigan dairy herds. *J Dairy Sci.* 102(9):8400–8404. doi:10.3168/jds.2019-16475.
- Moore-Foster R, Norby B, Schewe RL, Thomson R, Bartlett PC, Erskine RJ. 2019c. Herd-level variables associated with delayed milk ejection in Michigan dairy herds. *J Dairy Sci.* 102(1):696–705. doi:10.3168/jds.2018-14561.
- Neijenhuis F, Barkema HW, Hogeveen H, Noordhuizen JPTM. 2000. Classification and longitudinal examination of callused teat ends in dairy cows. *J Dairy Sci.* 83(12):2795–2804. doi:10.3168/jds.S0022-0302(00)75177-0.
- Neijenhuis F., Barkema HW, Hogeveen H, Noordhuizen JPTM. 2001. Relationship between teat-end callosity and occurrence of clinical mastitis. *J Dairy Sci.* 84(12):2664–2672. doi:10.3168/jds.S0022-0302(01)74720-0.
- Neijenhuis F, Mein GA, Britt JS, Reinemann DJ, Hillerton JE, Farnsworth R, Baines JR, Hemling T, Ohnstad I, Cook N, et al. 2001. Evaluation of bovine teat condition in commercial dairy herds: 4. relationship between teat-end callosity or hyperkeratosis and mastitis. In: 2nd International Symposium on Mastitis and Milk Quality. Vancouver, Canada. p. 362–336.
- Nickerson SC, Akers RM. 2011. MAMMARY GLAND | Anatomy. In: Funquay JW, editor. *Encyclopedia of Dairy Sciences*. 2nd ed. San Diego: Academic Press. p. 328–337. doi: 10.1016/B978-0-12-374407-4.00290-9.
- NMC. 2012. *Procedures for Evaluating Vacuum Levels and Airflow in Milking Systems*. New Prague, MN: National Mastitis Council.
- NMC. 2013. *National Mastitis Council Recommended Milking Procedures*. New Prague, MN: National Mastitis Council.
- Ohnstad I. 2011. Operation of the milking equipment. *Livestock.* 16(7):23–27. doi:10.1111/j.2044-3870.2011.00062.x.
- Paulrud CO. 2005. Basic Concepts of the Bovine Teat Canal. *Vet Res Commun.* 29(3):215–245. doi: 10.1023/b:verc.0000047496.47571.41.
- Penry JF, Upton J, Mein GA, Rasmussen MD, Ohnstad I, Thompson PD, Reinemann DJ. 2017. Estimating teat canal cross-sectional area to determine the effects of teat-end and mouthpiece chamber vacuum on teat congestion. *J Dairy Sci.* 100(1):821–827. doi:10.3168/jds.2016-11533.
- Pfeilsticker H-U, Bruckmaier RM, Blum JW. 1996. Cisternal milk in the dairy cow during lactation and after preceding teat stimulation. *J Dairy Res.* 63(4):509–515. doi:10.1017/s0022029900032040.
- Rasmussen MD. 1993. Influence of Switch Level of Automatic Cluster Removers on Milking Performance and Udder Health. *J Dairy Res.* 60(3):287–297. doi:10.1017/S0022029900027631.

- Rasmussen MD. 2004. Overmilking and Teat Condition. In: 43rd NMC Annual Meeting Proceedings, Charlotte, NC. New Prague, MN: National Mastitis Council. p. 169–175.
- Rasmussen MD, Frimer ES, Decker EL. 1994. Reverse Pressure Gradients Across the Teat Canal Related to Machine Milking. *J Dairy Sci.* 77(4):984–993. doi:10.3168/jds.S0022-0302(94)77034-X.
- Rasmussen MD, Frimer ES, Galton DM, Petersson LG. 1992. The Influence of Premilking Teat Preparation and Attachment Delay on Milk Yield and Milking Performance. *J Dairy Sci.* 75(8):2131–2141. doi:10.3168/jds.S0022-0302(92)77973-9.
- Rasmussen MD, Wiking L, Bjerring M, Larsen HC. 2006. Influence of air intake on the concentration of free fatty acids and vacuum fluctuations during automatic milking. *J Dairy Sci.* 89(12):4596–4605. doi:10.3168/jds.S0022-0302(06)72509-7.
- Van Reenen CG, Van Der Werf JTN, Bruckmaier RM, Hopster H, Engel B, Noordhuizen JPTM, Blokhuis HJ. 2002. Individual differences in behavioral and physiological responsiveness of primiparous dairy cows to machine milking. *J Dairy Sci.* 85(10):2551–2561. doi:10.3168/jds.S0022-0302(02)74338-5.
- Reinemann DJ, Rasmussen MD, LeMire S, Neijenhuis F, Mein GA, Hillerton JE, Morgan WF, Timms L, Cook N, Farnsworth R, et al. 2001. Evaluation of bovine teat condition in commercial dairy herds: 3. getting the numbers right. In: 2nd International Symposium on Mastitis and Milk Quality. Vancouver, Canada. p. 357–361.
- Rushen J, Taylor AA, Passille AM De. 1999. Domestic animals ' fear of humans and its effect on their welfare. *Appl Anim Behav Sci.* 65(3):285–303. doi:10.1016/S0168-1591(99)00089-1.
- Sagi R, Gorewit RC, Merrill WG, Wilson DB. 1980. Premilking Stimulation Effects on Milking Performance and Oxytocin and Prolactin Release in Cows. *J Dairy Sci.* 63(5):800–806. doi:10.3168/jds.S0022-0302(80)83009-8.
- Samoré AB, Román-Ponce SI, Vacirca F, Frigo E, Canavesi F, Bagnato A, Maltecca C. 2011. Bimodality and the genetics of milk flow traits in the Italian Holstein-Friesian breed. *J Dairy Sci.* 94(8):4081–4089. doi:10.3168/jds.2010-3611.
- Sandrucci A, Tamburini A, Bava L, Zucali M. 2007. Factors Affecting Milk Flow Traits in Dairy Cows: Results of a Field Study. *J Dairy Sci.* 90(3):1159–1167. doi:10.3168/jds.s0022-0302(07)71602-8. doi:10.3168/jds.S0022-0302(07)71602-8.
- Schams D, Mayer H, Prokopp A, Worstorff H. 1984. Oxytocin secretion during milking in dairy cows with regard to the variation and importance of a threshold level for milk removal. *J Endocrinol.* 102(3):337–343. doi:10.1677/joe.0.1020337.
- Schmidt GH, Switzer KO, Guest RW, Guthrie RS. 1964. Effect of Teat-End Vacuum Fluctuations on Milking Rate and Mastitis. *J Dairy Sci.* 47(7):761–765. doi:10.3168/jds.S0022-0302(64)88760-9. doi:10.3168/jds.S0022-0302(64)88760-9.
- Shearn MFH, Hillerton JE. 1996. Hyperkeratosis of the teat duct orifice in the dairy cow. *J Dairy Res.* 63(4):525–532. doi:10.1017/s0022029900032064.
- Soloff MS. 1982. Oxytocin Receptors and Mammary Myoepithelial Cells. *J Dairy Sci.* 65(2):326–337. doi:10.3168/jds.S0022-0302(82)82194-2.

- Stewart S, Eicker S, Rapnicki P. 2001. Automated collection of parlor performance data: information needed and proposed standardized definitions. In: Proceedings of the 2nd International Symposium on Mastitis and Milk Quality. Vancouver, Canada p. 377–381.
- Stewart S, Godden S, Rapnicki P, Reid D, Johnson A, Eicker S. 2002. Effects of automatic cluster remover settings on average milking duration, milk flow, and milk yield. *J Dairy Sci.* 85(4):818–823. doi:10.3168/jds.S0022-0302(02)74141-6.
- Sutherland MA, Huddart FJ. 2012. The effect of training first-lactation heifers to the milking parlor on the behavioral reactivity to humans and the physiological and behavioral responses to milking and productivity. *J Dairy Sci.* 95(12):6983–6993. doi:10.3168/jds.2011-5211.
- Tančin V, Ipema B, Hogewerf P, Mačuhová J. 2006. Sources of variation in milk flow characteristics at udder and quarter levels. *J Dairy Sci.* 89(3):978–988. doi:10.3168/jds.S0022-0302(06)72163-4.
- Thiel CC, Clough PA, Akam DN. 1964. Mechanics of machine milking: I. Pressures in the teatcup assembly and liner wall movement. *J Dairy Res.* 31(3):303–313. doi:10.1017/S0022029900018240.
- Thiel CC, Clough PA, Westgarth DR, Akam DN. 1966. Mechanics of machine milking II. The flow-rate pattern within single pulsation cycles. *J Dairy Res.* 33(2):177–191. doi:10.1017/S0022029900011845
- Thiel CC, Cousins CL, Westgarth DR, Neave FK. 1973. The influence of some physical characteristics the milking machine on the rate of new mastitis infections. *J Dairy Res.* 40(1):117–129. doi:10.1017/S0022029900014618.
- Thompson PD. 1981. Milking Machines – The Past Twenty-Five Years. *J Dairy Sci.* 64(6):1344–1357. doi:10.3168/jds.S0022-0302(81)82707-5.
- Timms L, Faust M, Ackermann M, Kehrli M. 1998. A year in the life of a teat end. In: 37th NMC Annual Meeting, St. Louis, MI. New Prague, MN: National Mastitis Council. p. 74-74h.
- Upton J, Penry JF, Rasmussen MD, Thompson PD, Reinemann DJ. 2016. Effect of pulsation rest phase duration on teat end congestion. *J Dairy Sci.* 99(5):3958–3965. doi:10.3168/jds.2015-10466. <http://dx.doi.org/10.3168/jds.2015-10466>.
- USDA. 2020. Farm Labor. Labor Cost Share Total Gross Revenues. [accessed 2020 Oct 20]. <https://www.ers.usda.gov/topics/farm-economy/farm-labor/#employment>.
- Wagner AM, Ruegg PL. 2002. The effect of manual forestripping on milking performance of Holstein dairy cows. *J Dairy Sci.* 85(4):804–809. doi:10.3168/jds.S0022-0302(02)74139-8.
- Wathes DC, Cheng Z, Bourne N, Taylor VJ, Coffey MP, Brotherstone S. 2007. Differences between primiparous and multiparous dairy cows in the inter-relationships between metabolic traits, milk yield and body condition score in the periparturient period. *Domest Anim Endocrinol.* 33(2):203–225. doi:10.1016/j.domaniend.2006.05.004.
- Watters RD, Bruckmaier RM, Crawford HM, Schuring N, Schukken YH, Galton DM. 2015. The effect of manual and mechanical stimulation on oxytocin release and milking characteristics in Holstein cows milked 3 times daily. *J Dairy Sci.* 98(3):1721–1729.

doi:10.3168/jds.2014-8335.

- Watters RD, Schuring N, Erb HN, Schukken YH, Galton DM. 2012. The effect of premilking udder preparation on Holstein cows milked 3 times daily. *J Dairy Sci.* 95(3):1170–1176. doi:10.3168/jds.2011-4388.
- Weiss D, Bruckmaier RM. 2005. Optimization of individual prestimulation in dairy cows. *J Dairy Sci.* 88(1):137–147. doi:10.3168/jds.S0022-0302(05)72671-0.
- Weiss D, Dzidic A, Bruckmaier RM. 2003. Effect of stimulation intensity on oxytocin release before, during and after machine milking. *J Dairy Res.* 70(3):349–354. doi:10.1017/S0022029903006216.
- Weiss D, Weinfurtner M, Bruckmaier RM. 2004. Teat anatomy and its relationship with quarter and udder milk flow characteristics in dairy cows. *J Dairy Sci.* 87(10):3280–3289. doi:10.3168/jds.S0022-0302(04)73464-5.
- Wieland M, Nydam D V., Heuwieser W, Morrill KM, Ferlito L, Watters RD, Virkler PD. 2020. A randomized trial to study the effect of automatic cluster remover settings on milking performance, teat condition, and udder health. *J Dairy Sci.* 103(4):3668–3682. doi:10.3168/jds.2019-17342.
- Wieland M, Nydam D V., Virkler PD. 2017. A longitudinal field study investigating the association between teat-end shape and two minute milk yield, milking unit-on time, and time in low flow rate. *Livest Sci.* 205(May):88–97. doi:10.1016/j.livsci.2017.09.011.
- Wieland M, Virkler PD, Weld A, Melvin JM, Wettstein MR, Oswald MF, Geary CM, Watters RD, Lynch R, Nydam D V. 2020. The effect of 2 different premilking stimulation regimens, with and without manual forestripping, on teat tissue condition and milking performance in Holstein dairy cows milked 3 times daily. *J Dairy Sci.* 103(10). doi:10.3168/jds.2020-18551.
- Wiercioch M, Luberański A, Krzyś A, Skalska D, Szlachta J. 2016. Impact of the System of Air Supply to a Milking Unit on Selected Parameters of Milking Machine Operation. *Agric Eng.* 20(3):195–205. doi:10.1515/agriceng-2016-0057.
- Wilde CJ, Knight CH. 1989. Metabolic Adaptations in Mammary Gland During the Declining Phase of Lactation. *J Dairy Sci.* 72(6):1679–1692. doi:10.3168/jds.S0022-0302(89)79279-1.
- Williams DM, Mein GA, Brown MR. 1981. Biological responses of the bovine teat to milking: Information from measurements of milk flow-rate within single pulsation cycles. *J Dairy Res.* 48(1):7–21. doi:10.1017/S0022029900021403.
- Zecconi A, Bronzo V, Piccinini R, Moroni P, Ruffo G. 1996. Field study on the relationship between teat thickness changes and intramammary infections. *J Dairy Res.* 63(3):361–368. doi:10.1017/s0022029900031885.
- Zecconi A, Bronzo V, Ruffo G, Hamann J. 1992. Machine-induced teat tissue reactions and infection risk in a dairy herd free from contagious mastitis pathogens. *J Dairy Res.* 59(3):265–271. doi:10.1017/S0022029900030545.
- Zucali M, Reinemann DJ, Tamburini A, Bade RD. 2008. Effects of liner compression on teat-end hyperkeratosis. In: American Society of Agricultural and Biological Engineers Annual International Meeting 2008, ASABE 2008. Providence, Rhode Island.

