Repositório Institucional UNESP

RESSALVA

Atendendo solicitação do(a) autor(a), o texto completo deste documento será disponibilizado somente a partir de 16/09/2028.

UNIVERSIDADE ESTADUAL PAULISTA
"JÚLIO DE MESQUITA FILHO"
FACULDADE DE MEDICINA

Giovana Mancilla Pivato

Avaliação de dor aguda em suínos: otimização de uma escala comportamental usando machine-learning

Tese apresentada à Faculdade de Medicina, Universidade Estadual Paulista "Júlio de Mesquita Filho", Câmpus de Botucatu, para obtenção do título de Doutora em Anestesiologia.

Orientador: Prof. Dr. Pedro Henrique Esteves Trindade

Botucatu
2026

Giovana Mancilla Pivato

Avaliação de dor aguda em suínos: otimização de uma escala comportamental usando machine-learning

Tese apresentada à Faculdade de Medicina, Universidade Estadual Paulista "Júlio de Mesquita Filho", Câmpus de Botucatu, para obtenção do título de Doutora em Anestesiologia.

Orientador: Prof. Dr. Pedro Henrique Esteves Trindade

Botucatu
2026

Pivato, Giovana Mancilla
P693a Avaliação de dor aguda em suínos: otimização de uma escala comportamental usando machine-learning / Giovana Mancilla Pivato. -- Botucatu, 2026
72 p.

Tese (doutorado) - Universidade Estadual Paulista (UNESP), Faculdade de Medicina, Botucatu
Orientadora: Pedro Henrique Esteves Trindade

1. Dor. 2. Escala. 3. Suíno. I. Título.

Sistema de geração automática de fichas catalográficas da Unesp. Dados fornecidos pelo autor(a).

IMPACTO DA PESQUISA

A presente tese de doutorado apresenta contribuições relevantes para a ciência veterinária, o bem-estar animal e a suinocultura ao otimizar a avaliação comportamental da dor aguda em leitões submetidos à castração cirúrgica. Por meio do refinamento estrutural e da otimização operacional da escala de dor Unesp-Botucatu Pig Composite Acute Pain Scale (UPAPS), o trabalho supera limitações históricas associadas à atribuição arbitrária da importância dos comportamentos e à definição empírica da janela observacional. No âmbito científico e tecnológico, a pesquisa inovou ao aplicar o algoritmo de aprendizado de máquina *Random Forest* associado a um procedimento sequencial *backward step-up* para ranquear os comportamentos alterados pela dor de forma objetiva e orientada por dados. Essa abordagem permitiu selecionar os cinco comportamentos com maior relevância diagnóstica para fundamentar a versão reduzida da escala, a UPAPS-SF, que demonstrou capacidade discriminatória da dor equivalente às da escala original completa de 17 comportamentos. No aspecto prático e operacional, a tese inovou ao empregar a técnica de janelas deslizantes (*sliding windows*) para demonstrar a viabilidade de reduzir o tempo de observação comportamental de 4 para 3 minutos por animal. Essa redução de 25% no tempo de avaliação preservou o desempenho diagnóstico do instrumento, minimizando a fadiga observacional e o cansaço mental do avaliador. Tal otimização viabiliza a aplicação rotineira da escala em granjas comerciais de larga escala e simplifica o treinamento de equipes de campo, estimulando o reconhecimento precoce da dor e a tomada de decisão oportuna para a intervenção analgésica. Por fim, o modelo metodológico de refinamento por inteligência artificial e a otimização do tempo observacional estabelecem um arcabouço translacional replicável para escalas de dor em outras espécies animais, pavimentando o caminho para o futuro desenvolvimento de sistemas automatizados de monitoramento da dor por visão computacional na pecuária de precisão.

UNIVERSIDADE ESTADUAL PAULISTA

Câmpus de Botucatu

ATA DA DEFESA PÚBLICA DA TESE DE DOUTORADO DE GIOVANA MANCILLA PIVATO, DISCENTE DO PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM ANESTESIOLOGIA, DA FACULDADE DE MEDICINA - CÂMPUS DE BOTUCATU.

Aos 16 de setembro de 2026, às 14h, por meio de Videoconferência, realizou-se a defesa de TESE DE DOUTORADO de GIOVANA MANCILLA PIVATO, intitulada "Avaliação de dor aguda em suínos: otimização de uma escala comportamental usando machine-learning". A Comissão Examinadora foi constituída pelos seguintes membros: Assistant Professor PEDRO HENRIQUE ESTEVES TRINDADE (Orientador(a) - Participação Virtual) do(a) Department of Large Animal Clinical Sciences / College of Veterinary Medicine, Michigan State University (MSU), Profa. Dra. RENATA NAVARRO CASSU (Participação Virtual) do(a) Departamento de Cirurgia Veterinária e Reprodução Animal / UNESP / Câmpus de Botucatu - FMVZ, Prof. Tit. STELIO PACCA LOUREIRO LUNA (Participação Virtual) do(a) Departamento de Cirurgia Veterinária e Reprodução Animal / UNESP / Câmpus de Botucatu - FMVZ, Pesquisadora Dra. JULIANA CRISTINA REGO RIBAS (Participação Virtual) do(a) Boas Práticas de Produção e Bem-Estar Animal / Agroceres PIC - Rio Claro/SP, Profa. Dra. RENATA HADDAD PINHO (Participação Virtual) do(a) Faculty of Veterinary Medicine / University of Calgary , Após a exposição pela doutoranda e arguição pelos membros da Comissão Examinadora que participaram do ato, de forma presencial e/ou virtual, a discente recebeu o conceito final:_ _ _APROVADA_ _ _ . Nada mais havendo, foi lavrada a presente ata, que após lida e aprovada, foi assinada pelo(a) Presidente(a) da Comissão Examinadora.

Assistant Professor PEDRO HENRIQUE ESTEVES TRINDADE

AGRADECIMENTOS

Primeiramente, agradeço a Deus, por ser meu sustento, minha força e minha direção em todos os momentos desta caminhada. Por iluminar meus passos, renovar minhas esperanças diante das dificuldades e me conceder sabedoria para chegar até aqui. Esta conquista é, antes de tudo, fruto de Sua graça e cuidado em minha vida. À minha família, pelo amor incondicional, pelo apoio constante e por acreditarem em mim, mesmo nos momentos em que eu mesma duvidei. Obrigada por respeitarem minhas escolhas e estarem sempre ao meu lado, oferecendo carinho, incentivo e segurança. Vocês são minha base e parte essencial de cada conquista da minha vida. Esta vitória também é de vocês.

Ao meu orientador, Prof. Dr. Pedro Henrique Esteves Trindade, minha sincera gratidão pela orientação, confiança e oportunidade de desenvolver este trabalho. Obrigada por compartilhar seus conhecimentos, pelas contribuições, pela disponibilidade e por todo o aprendizado proporcionado ao longo desta trajetória. Sua orientação foi fundamental não apenas para a construção desta tese, mas também para meu crescimento acadêmico e profissional. Levo comigo os ensinamentos e as experiências vivenciadas durante esses anos.

Aos colegas do grupo de pesquisa, agradeço pela parceria, pelas trocas de conhecimento, pela colaboração e por tornarem essa caminhada mais leve e significativa. Em especial, à Marcela, ao Gustavo, à Beatriz e à Isis, que estiveram mais próximos ao longo dessa trajetória. Obrigada pela amizade, pelo companheirismo, pelas conversas, pela ajuda nos momentos de dificuldade e por compartilharem comigo tantos desafios e conquistas. Ter vocês nessa caminhada fez toda a diferença.

O presente trabalho foi realizado com apoio da Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior – Brasil (CAPES) – Código de Financiamento 33004064076P6. Por fim, agradeço a todos que, direta ou indiretamente, contribuíram para a realização desta tese e fizeram parte dessa jornada. Cada palavra de incentivo, gesto de carinho e contribuição, por menor que parecesse, teve sua importância para que este momento se tornasse possível. Concluir esta etapa representa muito mais do que finalizar um trabalho acadêmico. Representa anos de dedicação, aprendizado, renúncias, amadurecimento e superação. Por isso, meu coração é de gratidão a todos que fizeram parte dessa história.

RESUMO

A avaliação da dor em suínos é essencial para melhorar o bem-estar animal em sistemas intensivos de produção e na pesquisa translacional, nos quais procedimentos dolorosos são rotineiramente realizados, como a castração cirúrgica. Nesse contexto, a Unesp-Botucatu Pig Acute Pain Scale (UPAPS) foi desenvolvida e validada como uma ferramenta comportamental prática, rápida e eficaz para o diagnóstico da dor aguda em leitões. Entretanto, a escala ainda apresenta limitações relacionadas à atribuição arbitrária da importância dos comportamentos avaliados e à definição empírica da janela observacional utilizada para a avaliação comportamental. Assim, o presente projeto tem como objetivo otimizar a avaliação comportamental da dor aguda em leitões submetidos à castração cirúrgica utilizando a UPAPS, visando aumentar sua aplicabilidade prática em condições comerciais e experimentais. Parte-se da hipótese de que a implementação de ponderações estatísticas baseadas em algoritmos de *machine learning* pode melhorar a qualidade diagnóstica da escala, permitindo diferenciar de forma mais precisa animais com dor daqueles livres de dor. A tese será estruturada em dois capítulos complementares. O primeiro capítulo propõe a otimização estrutural da escala por meio do uso do algoritmo de *machine learning* random forest para ranquear os comportamentos mais relevantes para o diagnóstico da dor, possibilitando a proposição de uma versão reduzida da escala (UPAPS-SF). Foram avaliadas a capacidade discriminatória, sensibilidade, especificidade, área sob a curva ROC (medida da capacidade do modelo de discriminar animais com e sem dor, variando de 0,5 a 1,0) e ponto de corte da versão reduzida em comparação com a escala original. O segundo capítulo será direcionado à otimização operacional da aplicação da UPAPS-SF, investigando o impacto da redução da janela observacional de 4-minutos para 1-, 2-, ou 3-minutos sobre sua capacidade diagnóstica. Diferentes tempos de observação comportamental manual serão comparados com o objetivo de identificar a menor duração observacional capaz de manter adequada sensibilidade, especificidade e acurácia diagnóstica. Em conjunto, ambos os estudos buscam aumentar a viabilidade prática da avaliação da dor em sistemas intensivos de produção de suínos, favorecendo a implementação de protocolos padronizados de monitoramento da dor aguda em condições comerciais e contribuindo para o avanço do bem-estar animal.

Palavras chave: dor, escala, suíno.

ABSTRACT

Pain assessment in swine is essential for improving animal welfare, especially in intensive production systems where painful procedures, such as surgical castration, are routinely performed. In this context, the Unesp-Botucatu Pig Acute Pain Scale (UPAPS) was developed and validated as a practical, rapid, and effective behavioral tool for diagnosing acute pain in piglets. However, the scale still has limitations related to the arbitrary assignment of importance to the assessed behaviors and the empirical definition of the observational window used for behavioral assessment. Thus, this project aims to optimize the behavioral assessment of acute pain in piglets undergoing surgical castration using the UPAPS, aiming to increase its practical applicability in commercial and experimental conditions. It is hypothesized that the implementation of statistical weightings based on *machine learning* algorithms can improve the diagnostic quality of the scale, allowing for more precise differentiation between animals experiencing pain and those free from pain. The thesis will be structured in two complementary chapters. The first chapter proposes the structural optimization of the scale through the use of the random forest *machine learning* algorithm to rank the behaviors most relevant to pain diagnosis, enabling the proposition of a reduced version of the scale (UPAPS-SF). The discriminatory capacity, sensitivity, specificity, area under the ROC curve (a measure of the model's ability to discriminate between animals with and without pain, ranging from 0.5 to 1.0), and cutoff point of the reduced version were evaluated in comparison with the original scale. The second chapter will focus on the operational optimization of the UPAPS-SF application, investigating the impact of reducing the observational window from 4 minutes to 1, 2, or 3 minutes on its diagnostic capacity. Different manual behavioral observation times will be compared to identify the shortest observational duration capable of maintaining adequate sensitivity, specificity, and diagnostic accuracy. Together, both studies aim to increase the practical feasibility of pain assessment in intensive pig production systems, promoting the implementation of standardized acute pain monitoring protocols under commercial conditions and contributing to the advancement of animal welfare.

Keywords: pain, scale, swine.

SUMÁRIO

1. Introdução e justificativa 13
   1.1 - Modelo experimental 13
   1.2 - Monitoramento da dor 14
   1.3 - Castração cirúrgica em suínos 17
   1.4 - Ponderações da UPAPS 17
   1.4.1 - Ponderação dos comportamentos da UPAPS 18
   1.4.2 - Otimização do tempo de observação da UPAPS-SF 19
2. Hipótese e objetivo 20
   2.1 - Hipótese geral 20
   2.2 - Hipótesis específicas 20
   2.3 - Objetivo geral 20
   2.4 - Objetivo específico 20
3. Capítulo 1: Proposing a short version of the Unesp-Botucatu Pig Acute Pain Scale using a novel application of machine learning technique 23
   3.1 - Title 23
   3.2 - Abstract 23
   3.3 - Introduction 23
   3.4 - Results 24
   3.4.1 - Reliability 25
   3.4.2 - Training random forest 25
   3.4.3 - Testing random forest 25
   3.4.4 - Refining random forest 26
   3.4.5 - Short pain scale 26
   3.5 - Discussion 28
   3.6 - Material and methods 30
   3.6.1 - Database 31
   3.6.1.1 - Weaned pig database 31
   3.6.1.2 - Pre-weaned pig database 31
   3.6.2 - Behavioral pain scale 31
   3.6.3 - Statistical description 33
   3.6.4 - Code and database availability 33
   3.6.5 - Sample size computation 33

3.6.6 - Reliability 33
3.6.7 - Train-test split 33
3.6.8 - Random forest 34
3.6.9 - Training random forest 34
3.6.10 - Testing random forest 34
3.6.11 - Refining random forest 34
3.6.12 - Short pain scale 35
3.7 - Supplementary material 35
3.8 - References 35
4. Capítulo 2: Optimizing Observational Pain Scale Period to Assess Post-castration Pain in Piglets 44
4.1 - Abstract 44
4.2 - Introduction 45
4.3 - Material and Methods 46
4.3.1 - Video-recorded databases 46
4.3.2 - Training schedule 46
4.3.3 - Observer and behavioral assessment 47
4.3.4 - Sliding windows approach 49
4.3.5 - Statistical analysis 50
4.3.6 - Reliability 50
4.3.7 - Comparing 4-minute videos with 1-, 2-, and 3-minute windows UPAPS-SF total sum and pain diagnosis 50
4.3.8 - Pain diagnosis performance 50
4.4 - Results 51
4.4.1 - Reliability 51
4.4.2 - UPAPS-SF total sum and pain diagnosis comparison by observation period 51
4.4.3 - Pain diagnosis performance 55
4.5 - Discussion 55
4.6 - Conclusion 58
4.7 - References 59
5. Conclusão geral 64

LISTA DE FIGURAS

1. 3 - Capítulo 1: Proposing a short version of the Unesp-Botucatu Pig Acute Pain Scale using a novel application of machine learning technique _____25

   1.1 - Figure 1. Percentage of the importance of the 17 UPAPS pain-altered behavior based on the random forest algorithm using the pain condition (after castration) and pain-free (before castration) as target variable (UPAPS is Unesp-Botucatu Pig Composite Acute Pain Scale) _____27

   1.2 - Figure 2. Refinement of the random forest algorithm based on the importance ranking of UPAPS pain-altered behaviors _____29

2. 4 - Capítulo 2 - Optimizing observational pain scale period to assess post-castration pain in piglets _____45

   2.2 - Figure 1: Representation of the sliding windows approach and pain classification logic using 1-minute windows as an example. _____50

   2.3 - Figure 2. UPAPS-SF total sum across different time window evaluations (1-, 2-, and 3-minute) *versus* the full-length 4-minute video evaluation across timepoints __54

   2.4 - Figure 3. Pain diagnosis across different time window evaluations (1-, 2-, and 3-minute) versus the full-length 4-minute video evaluation across timepoints _____55

LISTA DE TABELAS

1. 3 - Capítulo 1: Proposing a short version of the Unesp-Botucatu Pig Acute Pain Scale using a novel application of machine learning technique _____25
   1.1 - Table 1. Inter-observer reliability of the UPAPS total sum for each database __27
   1.2 - Table 2. Optimal cut-off point, specificity, sensitivity, and area under the curve of the UPAPS and random forest algorithm _____28
   1.3 - Table 3. Optimal cut-off point, specificity, sensitivity, and area under the curve of the UPAPS and its short version _____29
   1.4 - Table 4. Unesp-Botucatu Pig Composite Pain Scale without Appetite or Nursing item _____34
   1.5 - Table S1. Refinement of the random forest algorithm based on the importance ranking of pain-altered behaviors _____37
2. 4 - Capítulo 2 - Optimizing observational pain scale period to assess post-castration pain in piglets _____45
   2.1 - Table 1. Description of the Short Form of the Unesp-Botucatu Piglet Composite Acute Pain Scale (UPAPS-SF) _____49
   2.2 - Table 2. Intra-observer reliability of the UPAPS-SF individual behaviors and total sum _____52
   2.3 - Table 3. Pain diagnosis performance in the 1-, 2-, and 3-minute windows compared with the 4-minute video evaluations _____56
   2.4 - Table S1. Pain-per-second values in piglets _____65

1- Introdução e justificativa

1.1 - Modelo experimental

Os suínos são mamíferos mundialmente criados para atender diversas finalidades humanas, desde a demanda para o consumo humano (carne direta e produtos derivados), bem como animais de produção, companhia e uso experimental. Neste aspecto, o *Sus scrofa domesticus* mostrou-se como uma relevante modelo de pesquisa biomédica translacional devido às suas semelhanças anatômicas e fisiológicas com o *Homo sapiens sapiens*, principalmente em pesquisas de doenças cardiovasculares, câncer colorretal, osteossarcoma, diabetes, fibrose cística, distrofia muscular de Duchenne e doença de Alzheimer, além de testar terapias com células-tronco e transplante de órgãos (Kobayashi et al., 2012; Bergen, 2022). As vantagens da utilização de suínos decorrem do tempo de gestação relativamente curto (115 dias em comparação com 283 dias de bovinos), da alta fertilidade e de uma possível tradução direta de técnicas cirúrgicas (como a endoscopia) que pode ser implementada em testes de diversos diagnósticos médicos e procedimentos terapêuticos (Bergen, 2022). Ademais, o tamanho semelhante e volume de batimento cardíaco semelhantes posicionam o porco doméstico em primeiro lugar entre os potenciais doadores para xenotransplante (Kobayashi et al., 2012).

Para além de sua relevância biomédica, a suinocultura representa atualmente um dos setores mais expressivos da produção animal mundial. A carne suína corresponde a mais de 30% de toda a carne produzida globalmente, sendo a proteína animal mais consumida no mundo (Wang & Li, 2024). Estima-se que o rebanho suíno mundial ultrapasse 749 milhões de cabeças, das quais aproximadamente três quartos estão concentradas no continente asiático, e a China figura como a maior produtora e consumidora mundial de carne suína, respondendo por cerca de 44% da produção global (Wang & Li, 2024). Segundo o relatório conjunto da Organização para a Cooperação e Desenvolvimento Econômico e da Organização das Nações Unidas para a Alimentação e Agricultura (OCDE/FAO, 2025), a produção mundial de carne suína deve crescer de aproximadamente 124 milhões de toneladas em equivalente-carcaça, no período-base de 2022-2024, para 130 milhões de toneladas até 2034, com a Ásia respondendo por mais da metade desse crescimento; em 2025, a produção mundial de carnes já havia atingido 384 milhões de toneladas, impulsionada, entre outros fatores, pela recuperação progressiva da suinocultura asiática após os surtos de peste suína africana (FAO, 2025).

Esse cenário de expansão é acompanhado por uma intensa transformação estrutural do setor, caracterizada pela transição de sistemas de produção de pequena escala para sistemas intensivos, de alta densidade populacional e elevado grau de tecnificação (Wang & Li, 2024). Em países desenvolvidos, como os da União Europeia e os Estados Unidos, os sistemas de produção em larga escala já respondem por aproximadamente 90% e 95% da produção suína, respectivamente, enquanto em países em desenvolvimento essa transição ainda está em curso, porém avança de forma acelerada (Wang & Li, 2024). Essa intensificação, embora fundamental para atender à crescente demanda global por proteína animal, tem sido acompanhada de preocupações crescentes quanto ao bem-estar dos animais submetidos a rotinas de manejo cada vez mais padronizadas e a procedimentos dolorosos realizados em larga escala, como a castração cirúrgica, reforçando a necessidade de instrumentos de avaliação da dor que sejam, ao mesmo tempo, precisos e operacionalmente viáveis em condições comerciais.

1.2 - Monitoramento da dor

Independente do propósito de criação dos porcos, o monitoramento da dor é indispensável para análise (i) da qualidade de vida dos porcos; (ii) das consequências de procedimentos invasivos; (iii) e de estratégias eficazes para aliviar ou mitigar a dor. Nos centros de criação por exemplo, os suínos enfrentam na rotina manejos reconhecidamente dolorosos como corte de cauda, ressecção de dentes, castração e marcação de orelha, bem como condições inadequadas de alojamento e ou manejo que podem culminar em doenças como mastite ou meningite estreptocócica (Steagall et al., 2021). Além da premissa básica de que qualquer animal durante sua vida poderá sofrer com a dor de situações não intencionais como, parto distócico, encontros agonísticos e injúrias (Steagall et al., 2021). Neste cenário múltiplo e diverso, é imprescindível o monitoramento dos suínos para diagnosticar com precisão e tratar adequadamente a dor (Steagall et al., 2021). No entanto, a dor é ‘uma experiência sensorial e emocional desagradável associada a dano tecidual real ou potencial, ou descrita em termos de tal dano’ (do inglês ‘an unpleasant sensory and emotional experience associated with actual or potential tissue damage, or described in terms of such damage’) (Raja et al., 2020) de diagnóstico complexo devido a sua combinação de componentes somáticos, cognitivos e emocionais (Price, 2000) que variam a cada indivíduo.

Como a dor é uma experiência subjetiva e pessoal, as tentativas de medi-la objetiva e cientificamente em animais são desafiadoras. O autorrelato verbal é considerado o método

“padrão ouro” para avaliar a dor humana, todavia esta abordagem tem limitações no seu uso em pacientes neonatos ou com deficiência cognitiva, por exemplo (Schiavenato, 2010). A Associação Internacional para o Estudo da Dor (IASP - do inglês *The International Association for the Study of Pain*) afirma que a incapacidade de se comunicar verbalmente não anula a capacidade de sentir dor e a necessidade de alívio da dor, o que torna importante a capacidade de avaliar a dor usando métodos não verbais (Merskey, 1979; Charlton, 2005). Contudo, a capacidade de mensurar que um animal percebe uma experiência dolorosa como desagradável ou aversiva é consideravelmente desafiadora

A dor suína precisa ser avaliada com um instrumento que atenda aos requisitos do Consenso Padrão para Instrumentos de Medição de Saúde (COSMIN, do inglês Consensus-based Standards for the Selection of Health Measurement Instruments) (Mokkink et al., 2018), que seja eficaz, válido, confiável e sensível (Mokkink et al., 2018). Vários estudos conduziram etogramas registrando a duração e frequência comportamental por um período de tempo relativamente longo durante situações de dor e reportaram aumento padrão de determinadas posturas anormais, assim como diminuição de atividades normais. A avaliação do comportamento, principalmente em situações de estresse tornou-se oportuno e uma técnica explorada na medicina por ser majoritariamente uma abordagem de caráter não invasiva e não intrusiva a rotina e manejo dos animais, além de prática visto que a necessidade de equipamentos sofisticados ou de uma equipe multiprofissional não é necessária. Contudo, como os comportamentos não são patognomônicos para diagnosticar a dor foi necessário combinar uma gama de comportamentos para tal demanda, sendo ainda necessário o agrupamento de alguns comportamentos em categorias por apresentarem uma ocorrência muito baixa para sua análise estatística individual (Molony, 1993; Small, 2020).

O grupo de pesquisa Animal Pain da Unesp-Botucatu já havia desenvolvido e validado escalas compostas de dor para outras espécies de interesse veterinário, como gatos (Brondani et al., 2013) e bovinos (de Oliveira et al., 2014), o que fundamentou metodologicamente a proposição de um instrumento equivalente para suínos. Seguindo esse raciocínio, em 2020 foi criado um instrumento espécie-específico para rápida (4 min) e simples avaliação da dor em suínos (leitões com 38 ± 3 dias de idade) pelo grupo de pesquisa Animal Pain coordenado pelo professor Stelio Pacca Loureiro Luna da Unesp-Botucatu pig composite acute pain scale (UPAPS) (Luna et al., 2020). A UPAPS foi conduzida a um processo exigente de refinamento e validação psicométrica, investigando a adequação dos itens comportamentais do instrumento, seguindo várias etapas estatísticas (Streiner, Norman & Cairney, 2015). Ao final do processo a UPAPS apresentou o conjunto de itens

comportamentais mais robustos para a avaliar a dor e mostrou-se repetível por um mesmo avaliador e reprodutível por quatro avaliadores, sensível e específica para o diagnóstico da dor, responsiva ao longo das avaliações no perioperatório de orquiectomia, com excelente consistência interna dos itens comportamentais e excelente capacidade discriminatória para diferenciar suínos com dor daqueles livres de dor (Luna et al., 2020). Em seguida, outro estudo confirmou a utilidade da UPAPS para investigar a eficácia da flunixina transdérmica no alívio da dor em leitões (5 dias de vida) pós-orquiectomia (Lopez-Soriano et al., 2022). Posteriormente, a validade da UPAPS foi estendida a leitões pré-desmame (5 dias de vida), ampliando sua aplicabilidade para diferentes fases produtivas da cadeia suinícola (Robles et al., 2023).

Um fato a se considerar é que a UPAPS demonstrou que a linguagem corporal é útil para diagnosticar a dor em suínos e cumpriu o papel de ser um instrumento prático e rápido (Luna et al., 2020), porém, com a desvantagem de se atribuir uma importância teórica e arbitrária para os comportamentos e o tempo de avaliação. Técnicas de *machine learning* (aprendizado de máquina) vêm sendo utilizadas na medicina veterinária e na ciência do comportamento animal para identificação de padrões complexos e ranqueamento de variáveis relevantes em diferentes contextos clínicos. Paralelamente, a investigação da menor duração observacional capaz de manter adequada capacidade diagnóstica possui importante impacto translacional, uma vez que protocolos mais rápidos e objetivos podem aumentar significativamente a viabilidade da aplicação da escala em condições de campo, reduzindo fadiga observacional, tempo de avaliação e necessidade de mão de obra especializada.

1.3 - Castração em suínos

A castração cirúrgica consiste na remoção física dos testículos ou na supressão da função testicular e representa um dos procedimentos de manejo mais amplamente praticados na suinocultura comercial (Sheil & Polkinghorne, 2020). Na maioria dos sistemas de produção, o procedimento é realizado rotineiramente em leitões machos destinados ao abate que não serão utilizados para fins reprodutivos, sendo tradicionalmente executado sem qualquer forma de anestesia ou analgesia (Bonneau & Weiler, 2019; Sheil & Polkinghorne, 2020).

A principal motivação para a castração é a prevenção do chamado odor sexual, ou boar taint, um odor e sabor desagradáveis que podem ser percebidos no cozimento e no consumo de carne proveniente de machos inteiros sexualmente maduros (Bonneau & Weiler,

5 - Conclusão geral

A presente tese contribuiu para o avanço da avaliação comportamental da dor aguda em suínos ao propor estratégias de otimização estrutural e operacional da Unesp-Botucatu Pig Composite Acute Pain Scale (UPAPS), visando ampliar sua aplicabilidade prática em contextos experimentais e produtivos. Considerando a importância do monitoramento da dor para o bem-estar animal, especialmente em procedimentos rotineiros como a castração cirúrgica, os estudos desenvolvidos buscaram reduzir limitações previamente existentes relacionadas à complexidade da escala e ao tempo necessário para sua aplicação.

No primeiro capítulo, foi demonstrado que técnicas de aprendizado de máquina, especificamente o algoritmo random forest, foram capazes de ranquear os comportamentos mais relevantes para o diagnóstico da dor em suínos submetidos à castração cirúrgica. A partir desse ranqueamento, foi proposta uma versão reduzida da escala, denominada UPAPS-SF, composta pelos comportamentos com maior importância diagnóstica. Os resultados evidenciaram que a versão reduzida apresentou capacidade discriminatória equivalente à versão original da UPAPS, mantendo adequada sensibilidade, especificidade e acurácia diagnóstica, mesmo com a redução substancial do número de comportamentos avaliados. Esses achados demonstram que é possível simplificar a avaliação comportamental da dor sem comprometer a qualidade diagnóstica do instrumento.

Além disso, a redução do número de comportamentos observados representa uma importante implicação prática, uma vez que pode facilitar o treinamento de observadores, reduzir a complexidade operacional da aplicação da escala e favorecer a implementação de protocolos padronizados de monitoramento da dor em sistemas intensivos de produção de suínos. O uso de técnicas de inteligência artificial para refinamento de escalas comportamentais também reforça o potencial translacional dessas ferramentas para outras espécies e contextos clínicos da medicina veterinária.

No segundo capítulo, foi investigado o impacto da redução da janela observacional sobre a capacidade diagnóstica da UPAPS-SF. Os resultados demonstraram que a redução do tempo de observação de quatro para três minutos manteve equivalência estatística em relação à quantificação e ao diagnóstico da dor, enquanto janelas menores, especialmente de um minuto, apresentaram maior risco de subestimação da dor. Assim, os achados sugerem que a utilização de uma janela observacional de três minutos representa uma alternativa viável para a avaliação da dor aguda em leitões, permitindo redução do tempo de observação com mínima perda de desempenho diagnóstico.

A otimização do tempo de avaliação possui relevância prática significativa, principalmente em cenários de grande escala ou em situações que demandam monitoramento frequente dos animais. A redução do tempo necessário para cada avaliação pode contribuir para diminuir fadiga observacional, otimizar o uso de mão de obra especializada e aumentar a viabilidade da aplicação rotineira da escala em condições comerciais e experimentais, favorecendo o reconhecimento precoce da dor e a adoção de medidas analgésicas adequadas.

Em conjunto, os resultados desta tese demonstram que a combinação entre refinamento estrutural da escala e otimização do tempo observacional possibilita tornar a avaliação comportamental da dor em suínos mais prática, objetiva e aplicável, sem comprometer sua robustez diagnóstica. Dessa forma, os estudos desenvolvidos fortalecem a utilização da UPAPS como ferramenta padronizada para monitoramento da dor aguda em suínos e contribuem para o avanço das estratégias de bem-estar animal na suinocultura e na pesquisa translacional.

Por fim, recomenda-se que estudos futuros investiguem a validação externa da versão reduzida da escala em diferentes contextos produtivos, idades e procedimentos dolorosos, bem como explorem o impacto da otimização da escala sobre fadiga observacional, treinamento de avaliadores e possibilidade de monitoramento simultâneo de múltiplos animais. Adicionalmente, o uso integrado de inteligência artificial e ferramentas automatizadas de reconhecimento comportamental representa uma perspectiva promissora para o desenvolvimento de sistemas objetivos e em tempo real para avaliação da dor em animais de produção.

6 - Referências

Associação Brasileira de Proteína Animal – ABPA. (2025). *Relatório Anual 2025*. ABPA.

Bergen, W. G. (2022). Pigs (Sus Scrofa) in biomedical research. *Recent Advances in Animal Nutrition and Metabolism*, 335-343.

Bateson, P. (1991). Assessment of pain in animals. *Animal behaviour*, *42*(5), 827-839.

Bonneau, M., & Weiler, U. (2019). Pros and cons of alternatives to piglet castration: Welfare, boar taint, and other meat quality traits. *Animals*, 9(11), 884.

Charlton JE. (2005) Core Curriculum for Professional Education in Pain: A Report of the Task Force on Professional Education of the International Association for the Study of Pain. 3rd ed. Seattle: IASP Press.

Cervero, F. (2012). Understanding pain: exploring the perception of pain. Mit Press.

Carvalho, J. R., Trindade, P. H., Conde, G., Antonioli, M. L., Funnicelli, M. I., Dias, P. P., ... & Ferraz, G. C. (2022). Facial Expressions of Horses Using Weighted Multivariate Statistics for Assessment of Subtle Local Pain Induced by Polylactide-Based Polymers Implanted Subcutaneously. *Animals*, *12*(18), 2400.

Choi, R. Y., Coyner, A. S., Kalpathy-Cramer, J., Chiang, M. F., & Campbell, J. P. (2020). Introduction to machine learning, neural networks, and deep learning. *Translational Vision Science & Technology*, *9*(2), 14-14.

Daigle, Courtney L., and Janice M. Siegford. "When continuous observations just won't do: Developing accurate and efficient sampling strategies for the laying hen." *Behavioural Processes* 103 (2014): 58-66.

Ferreira, Rony Antonio, et al. "Comportamento e parâmetros fisiológicos de leitões nas primeiras 24 horas de vida." *Ciência e Agrotecnologia* 31.6 (2007): 1845-1849.

Food and Agriculture Organization of the United Nations – FAO. (2025). *Food outlook: Biannual report on global food markets* (November 2025). FAO.

Gugliotta, Marinella, Bruno R. da Costa, Essam Dabis, Robert Theiler, Peter Jüni, Stephan Reichenbach, Hans Landolt, and Paul Hasler. "Surgical versus conservative treatment for lumbar disc herniation: a prospective cohort study." *BMJ Open* 6.12 (2016): e012938.

Kapos, F.P., Look, J.O., Zhang, L., Hodges, J.S., and Schiffman, E.L. "Predictors of long-term TMD pain intensity: an 8-year cohort study." *Journal of Oral & Facial Pain and Headache* 32.2 (2018): 113–122.

Kobayashi, E., Hishikawa, S., Teratani, T., & Lefor, A. T. (2012). The pig as a model for translational research: overview of porcine animal models at Jichi Medical University. *Transplantation research*, *1*(1), 1-9.

King-Podzaline, Erin Elizabeth, et al. "Effects of a multimodal pain control protocol using 2% lidocaine intradermal and meloxicam intramuscular on mitigating behavioral castration pain in piglets using a needleless system." *Journal of Applied Animal Welfare Science* 29.2 (2026): 215-226.

Luna, S. P. L., de Araújo, A. L., da Nóbrega Neto, P. I., Brondani, J. T., de Oliveira, F. A., Azerêdo, L. M. D. S., ... & Trindade, P. H. E. (2020). Validation of the UNESP-Botucatu pig composite acute pain scale (UPAPS). *PLoS One*, *15*(6), e0233552.

Lopez-Soriano, M., Merenda, V. R., Trindade, P. H. E., Luna, S. P. L., & Pairis-Garcia, M. D. (2022). Efficacy of transdermal flunixin in mitigating castration pain in piglets. *Frontiers in Pain Research*, *3*.

Livingston, F. (2005). Implementation of Breiman's random forest machine learning algorithm. *ECE591Q Machine Learning Journal Paper*, 1-13.

Manfrè, Claudia, et al. "A methodological approach to compare continuous and instantaneous sampling and two methods to deal with animals out of sight on dairy cattle behavior and interaction with their calf in the first hours post-partum." *Frontiers in Veterinary Science* 11 (2024): 1360239.

Morton, D. B., & Griffiths, P. H. (1985). Guidelines on the recognition of pain, distress and discomfort in experimental animals and an hypothesis for assessment. *Vet Rec*, *116*(16), 431-6.

Mitlöhner, F. M., et al. "Behavioral sampling techniques for feedlot cattle." *Journal of animal science* 79.5 (2001): 1189-1193.

Mokkink, L. B., Prinsen, C., Patrick, D. L., Alonso, J., Bouter, L., de Vet, H. C., ... & Mokkink, L. (2018). COSMIN methodology for systematic reviews of patient-reported outcome measures (PROMs). *User manual*, *78*(1).

Molony, V., Kent, J. E., & Robertson, I. S. (1993). Behavioural responses of lambs of three ages in the first three hours after three methods of castration and tail docking. *Research in Veterinary Science*, *55*(2), 236-245.

Merskey, H., Albe-Fessard, D. G., & Bonica, J. J. (1979). International association for the study of pain: Pain terms: A list with definitions and notes on usage. *Pain*, *6*, 249-252.

Nikaido, T., Sumitani, M., Sekiguchi, M., and Konno, S. "The Spine painDETECT questionnaire: development and validation of a screening tool for neuropathic pain caused by spinal disorders." *PLOS ONE* 13.3 (2018): e0193987.

Organisation for Economic Co-operation and Development & Food and Agriculture Organization of the United Nations – OECD/FAO. (2025). *OECD-FAO agricultural outlook 2025-2034*. OECD Publishing.

Price, D. D. (2000). Psychological and neural mechanisms of the affective dimension of pain. *Science*, *288*(5472), 1769-1772.

Pullin, A. N., et al. "Instantaneous sampling intervals validated from continuous video observation for behavioral recording of feedlot lambs." *Journal of animal science* 95.11 (2017): 4703-4707.

Raja, S. N., Carr, D. B., Cohen, M., Finnerup, N. B., Flor, H., Gibson, S., ... & Vader, K. (2020). The revised IASP definition of pain: concepts, challenges, and compromises. *Pain*, *161*(9), 1976.

Robles, Ivelisse, et al. "Technical contribution: use of continuous recording video monitoring of maintenance and pain behaviors in piglets after surgical castration to validate six

continuous time sampling periods for behavior scoring." *Journal of Animal Science* 99.11 (2021): skab310.

Sheil, Meredith, and Adam Polkinghorne. "Optimal methods of documenting analgesic efficacy in neonatal piglets undergoing castration." *Animals* 10.9 (2020): 1450.

Small, A. H., Jongman, E. C., Niemeyer, D., Lee, C., & Colditz, I. G. (2020). Efficacy of precisely injected single local bolus of lignocaine for alleviation of behavioural responses to pain during tail docking and castration of lambs with rubber rings. *Research in Veterinary Science*, *133*, 210-218.

Silva Alves, Laya Kannan, et al. "Topical wound-care products and their effects on healing, inflammatory biomarkers, and growth in piglets undergoing castration." *Porcine Health Management* 12.1 (2026): 23.

Steagall, P. V., Bustamante, H., Johnson, C. B., & Turner, P. V. (2021). Pain management in farm animals: focus on cattle, sheep and pigs. *Animals*, *11*(6), 1483.

Schiavenato, M., & Craig, K. D. (2010). Pain assessment as a social transaction: beyond the "gold standard". *The Clinical journal of pain*, *26*(8), 667-676.

Sneddon, L. U., Elwood, R. W., Adamo, S. A., & Leach, M. C. (2014). Defining and assessing animal pain. *Animal behaviour*, *97*, 201-212.

Streiner, D. L., Norman, G. R., & Cairney, J. (2015). *Health measurement scales: a practical guide to their development and use*. Oxford University Press, USA.

St. Jean, G., & Anderson, D. E. (2017). Surgery of the swine reproductive system and urinary tract. In S. L. Fubini & N. G. Ducharme (Eds.), *Farm animal surgery* (2nd ed., Cap. 23). Elsevier.

Tomacheuski, Rubia M., et al. "Reliability and validity of UNESP-Botucatu cattle pain scale and cow pain scale in Bos taurus and Bos indicus bulls to assess postoperative pain of surgical orchiectomy." *Animals* 13.3 (2023): 364.

Turner, D., Griffiths, A.M., Walters, T.D., Seah, T., Markowitz, J., Pfefferkorn, M., Keljo, D., Waxman, J., Otley, A., Leleiko, N.S., et al. "Mathematical weighting of the pediatric Crohn's disease activity index (PCDAI) and comparison with its other short versions." *Inflammatory Bowel Diseases* 18.1 (2012): 55–62.

Wang, L., & Li, D. (2024). Current status, challenges and prospects for pig production in Asia. *Animal Bioscience*, 37(4), 742-754.

Brasil. Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento (MAPA). (2020). *Instrução Normativa nº 113, de 16 de dezembro de 2020*. Dispõe sobre as boas práticas de manejo nas granjas de suínos de criação comercial.

Breiman, L. (2001). Random forests. *Machine Learning*, 45, 5-32.

Brondani, J. T., Mama, K. R., Luna, S. P. L., Wright, B. D., Niyom, S., Ambrosio, J., Vogel, P. R., & Padovani, C. R. (2013). Validation of the English version of the UNESP-Botucatu multidimensional composite pain scale for assessing postoperative pain in cats. *BMC Veterinary Research*, 9(1), 143.

de Oliveira, F. A., Luna, S. P. L., do Amaral, J. B., Rodrigues, K. A., Sant'Anna, A. C., Daolio, M., & Brondani, J. T. (2014). Validation of the UNESP-Botucatu unidimensional composite pain scale for assessing postoperative pain in cattle. *BMC Veterinary Research*, 10(1), 200.

Hay, M., Vulin, A., Génin, S., Sales, P., & Prunier, A. (2003). Assessment of pain induced by castration in piglets: behavioral and physiological responses over the subsequent 5 days. *Applied Animal Behaviour Science*, 82, 201-218.

Hötzel, M. J., Yunes, M. C., Vandresen, B., Albernaz-Gonçalves, R., & Woodroffe, R. E. (2020). On the road to end pig pain: Knowledge and attitudes of Brazilian citizens regarding castration. *Animals*, 10(10), 1826.

McGlone, J. J., Nicholson, R. I., Hellman, J. M., & Herzog, D. N. (1993). The development of pain in young pigs associated with castration and attempts to prevent castration-induced behavioral changes. *Journal of Animal Science*, 71, 1441-1446.

Pivato, G. M., da Silva, G. V., Peres, B. G., Luna, S. P. L., Pairis-Garcia, M. D., & Trindade, P. H. E. (2025). Proposing a short version of the Unesp-Botucatu pig acute pain scale using a novel application of machine learning technique. *Scientific Reports*, 15, 7161.

Pivato, G. M., da Silva, G. V., Alves, L. K. S., Lopez-Soriano, M., Oliveira, M. C., Tinoco, I. A. P., Pairis-Garcia, M. D., Luna, S. P. L., & Trindade, P. H. E. (2026). Psychometric validation of the short form of the Unesp-Botucatu pig composite acute pain scale (UPAPS-SF) for assessing pain in piglets following surgical castration. *SSRN preprint*.

Rault, J. L., Lay, D. C., & Marchant, J. N. (2011). Castration induced pain in pigs and other livestock. *Applied Animal Behaviour Science*, 135, 214-225.

Robles, I., Luna, S. P. L., Trindade, P. H. E., Lopez-Soriano, M., Merenda, V. R., Viscardi, A. V., Tamminga, E., Lou, M. E., & Pairis-Garcia, M. D. (2023). Validation of the Unesp-Botucatu pig composite acute pain scale (UPAPS) in piglets undergoing castration. *PLoS One*, 18(4), e0284218.

Telles, F. G., Luna, S. P. L., Teixeira, G., & Berto, D. A. (2016). Long-term weight gain and economic impact in pigs castrated under local anaesthesia. *Veterinary and Animal Science*, 1-2, 36-39.

Tomacheuski, R. M., Trindade, P. H. E., Merenda, V. R., Lopez-Soriano, M., & Pairis-Garcia, M. (2025). Impact of observation duration on behavioural pain assessment and intra-observer reliability in castrated piglets: A pilot study. *Animal Welfare*, 34, e27.

Trindade, P. H. E., de Mello, J. F. S. R., Silva, N. E. O. F., & Luna, S. P. L. (2022). Improving ovine behavioral pain diagnosis by implementing statistical weightings based on logistic regression and random forest algorithms. *Animals*, 12(21), 2940.