

## Uso de Filtro de Kalman para processamento de dados de pesagem diária para bovinos de corte



*Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária  
Embrapa Agricultura Digital  
Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento*

**BOLETIM DE PESQUISA  
E DESENVOLVIMENTO  
53**

Uso de Filtro de Kalman para  
processamento de dados de pesagem  
diária para bovinos de corte

*Roberto Hiroshi Higa  
Camilo Carromeu  
Caroline Carvalho de Oliveira  
Roberto Giolo de Almeida  
Eduardo Antonio Speranza*

**Embrapa Agricultura Digital**  
Campinas, SP  
2022

## **Embrapa Agricultura Digital**

Av. Dr. André Tosello, 209 - Cidade Universitária  
Campinas, SP, Brasil  
CEP: 13083-886  
Fone: (19) 3211-5700  
www.embrapa.br  
www.embrapa.br/fale-conosco/sac

Comitê Local de Publicações  
da Unidade Responsável

Presidente  
Carla Geovana do Nascimento Macário

Secretário-Executivo  
Maria Fernanda Moura

Membros  
Adriana Farah Gonzalez, Alexandre de Castro,  
Carla Cristiane Osawa, Debora Pignatari  
Drucker, Ivan Mazoni, João Camargo Neto,  
João Francisco Gonçalves Antunes, Magda  
Cruciol

Revisão de texto  
Adriana Farah Gonzalez

Normalização bibliográfica  
Carla Cristiane Osawa

Projeto gráfico da coleção  
Carlos Eduardo Felice Barbeiro

Editoração eletrônica  
Leticia Mathias do Amaral Campos

Foto da capa

**1ª edição**  
Publicação digital (2022): PDF

### **Todos os direitos reservados.**

A reprodução não autorizada desta publicação, no todo ou em parte,  
constitui violação dos direitos autorais (Lei nº 9.610).

### **Dados Internacionais de Catalogação na Publicação (CIP)**

Embrapa Agricultura Digital

---

Uso de Filtro de Kalman para processamento de dados de pesagem diária  
para bovinos de corte / Roberto Hiroshi Higa ... [et al.]. - Campinas :  
Embrapa Agricultura Digital, 2022.

PDF (21 p.) : il. color. - (Boletim de pesquisa e desenvolvimento /  
Embrapa Agricultura Digital, ISSN 2764-2623 ; 53).

1. Bovino de corte. 2. Gado Nelore. 3. Peso. 4. Filtro de Kalman. I. Higa,  
Roberto Hiroshi. II. Embrapa Agricultura Digital. III. Série.

CDD (21. ed.) 636.213

# Sumário

---

Introdução.....7

Material e Métodos ..... 11

Resultados e Discussão .....13

Conclusões e Trabalhos Futuros.....19

Referências .....20



# Uso de Filtro de Kalman para processamento de dados de pesagem diária para bovinos de corte

Roberto Hiroshi Higa<sup>1</sup>

Camilo Carromeu<sup>2</sup>

Caroline Carvalho de Oliveira<sup>3</sup>

Roberto Giolo de Almeida<sup>4</sup>

Eduardo Antonio Speranza<sup>5</sup>

**Resumo** – O presente estudo analisa a utilização de Filtros de Kalman (FK) para processamento de dados de pesagem diária de bovinos de corte utilizando um conjunto composto por pesagens diárias de 36 animais, coletados por 209 dias. Os resultados demonstram que o processamento de dados de pesagem diária com o Filtro de Kalman Polinomial (FKP) reduz o nível de ruído presente nos dados, viabiliza a extração do ganho de peso diário por animal, bem como torna factível a realização de predições do peso, por animal, 30 dias à frente. Adicionalmente, a utilização do FK não impacta a tomada de decisão no contexto do lote, uma vez que o peso médio dos animais no lote também não é afetado pelo FK.

**Termos para indexação:** filtro de Kalman, pecuária de precisão, ganho de peso diário, bovinos de corte.

---

<sup>1</sup> Engenheiro eletricista, doutor em Engenharia Elétrica, pesquisador da Embrapa Agricultura Digital, Campinas, SP.

<sup>2</sup> Cientista da Computação, doutor em Ciência da Computação, analista da Embrapa Gado de Corte, Campo Grande, MS.

<sup>3</sup> Zootecnista, Ph.D em Ciências Agrárias, bolsista de estímulo à inovação na Embrapa Gado de Corte, Campo Grande, MS.

<sup>4</sup> Engenheiro-agrônomo, doutor em Zootecnia, pesquisador da Embrapa Gado de Corte, Campo Grande, MS.

<sup>5</sup> Cientista da Computação, doutor em Ciência da Computação, analista da Embrapa Agricultura Digital, Campinas, SP.

## Use of Kalman Filter for processing daily weight data for beef cattle

**Abstract** – This study analyzes the use of Kalman Filters for processing daily weight data for beef cattle by using a data set of daily weights for 36 animals collected for 209 days. Results show that daily weight data processing by using Polynomial Kalman Filter lower the noise level present in the data, facilitates the extraction of daily weight gain per animal as well as makes feasible getting predictions for weight, per animal,  $k$  days ahead. In addition, the use of a Polynomial Kalman Filter does not impair decisions taken in the context of a batch as the average weight for the batch is not impacted by the Kalman Filter.

**Index terms:** Kalman filter, precision livestock farming, daily weight gain, beef cattle.

## Introdução

---

As atividades da produção da pecuária de corte compreendem três fases, podendo ser desenvolvidas isoladas ou combinadas, de forma a se complementarem: cria, recria e engorda (Cezar et al., 2005). A fase de cria, que compreende até 6 a 8 meses de vida do bezerro e termina com o evento do desmame, tem por objetivo garantir que os bezerras, ao serem desmamados, estejam saudáveis e com o maior peso possível. A fase de recria se inicia após o desmame e tem duração de aproximadamente 12 meses; ela é caracterizada pela introdução dos animais à alimentação sólida e tem por objetivo viabilizar a expressão máxima do potencial genético dos animais, ou seja, desenvolver sua estrutura e ganho de peso característicos no menor tempo possível. Por fim, na fase de terminação ou engorda, que se inicia quando o animal tem por volta de 300 Kg (20 @), tem por objetivo promover o desenvolvimento máximo dos animais, de forma que resultem na produção de mais carne e de melhor qualidade; é esperado que os animais alcancem um peso médio de 450 Kg (30 @), quando então são encaminhados para abate.

Cezar et al. (2005) classificam os sistemas de produção da pecuária de corte em: a) sistema extensivo, caracterizados pela utilização de pastagens nativas e cultivadas como únicas fontes de alimentos energéticos e proteicos; b) semiextensivo, que também tem como base alimentar as pastagens, complementados por suplementos minerais e protéicos/energéticos; e c) intensivo, que se diferencia do último pela utilização da prática de confinamento na terminação dos machos.

A integração lavoura-pecuária-floresta (ILPF) é definida como sendo uma estratégia de produção sustentável, que integra atividades agrícolas, pecuárias e florestais realizadas em uma mesma área, seja em cultivo consorciado, em sucessão ou em rotação. Ela contempla quatro modalidades: a) integração lavoura-pecuária (ILP) ou agropastoril; b) ILPF ou agrossilvipastoril; c) integração pecuária-floresta ou silvipastoril; e d) integração lavoura-floresta ou silviagrícola (Machado et al., 2011). ILPF preconiza a otimização do uso da terra, elevando os patamares de produtividade e sustentabilidade, diversificando a produção e gerando produtos de qualidade. São diversos os seus benefícios, por exemplo a redução da pressão para abertura de novas áreas com vegetação nativa e melhoria do bem-estar animal em decorrência do



conforto térmico e melhor ambiência (Embrapa, 2022). Em função dos benefícios mencionados, na última década foram criadas diversas iniciativas para disseminação do sistema de produção ILPF no Brasil, incluindo sua inclusão na política pública Plano ABC - Agricultura de Baixa Emissão de Carbono (Brasil, 2022) e a estruturação da Rede ILPF (Rede ILPF, 2022), uma associação co-financiada por um conjunto de empresas privadas e pela Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária (Embrapa) e que tem por objetivo acelerar uma ampla adoção das tecnologias de ILPF por produtores rurais.

A pecuária de precisão - Precision Livestock Farming (PLF) é definida como o gerenciamento 'individual' de animais por meio do monitoramento em tempo real da sua saúde, bem-estar, produção/reprodução e impacto ambiental (Berckmans, 2017). Ela contempla a aplicação combinada de uma ou mais ferramentas em um sistema integrado, o que tem sido viabilizado pelo desenvolvimento tecnológico ocorrido nas últimas duas décadas nas áreas de tecnologias da informação e comunicação (TIC), internet das coisas (IoT), redes de comunicação sem fio e disponibilidade de acesso à internet (Terrasson et al., 2017). PLF disponibiliza continuamente uma variedade de dados para suporte à tomada de decisão em sistemas produção da pecuária de corte, o que tem grande relevância para a pecuária extensiva, em que as operações de manejo dos animais são menos frequentes (Aquilani et al., 2022).

Em abril/2021, a Embrapa e as empresas Huawei do Brasil Telecomunicações e o Centro de Pesquisa e Desenvolvimento em Telecomunicações (CPQD) firmaram um acordo de cooperação técnica para execução do projeto "Sistema integrado de IoT e IA para monitoramento de indicadores de produtividade, ambientais e de bem-estar animal em sistemas de integração lavoura-pecuária-floresta (ILPF)" - ILPFConf (Speranza et al., 2022). Este, por sua vez, tem por objetivo incentivar o uso de tecnologias de sensoriamento baseado em Internet das Coisas e de inteligência artificial (IA) em um ambiente rural, para monitoramento em tempo real de indicadores de produtividade, ambiental e bem-estar animal em sistemas ILPF, ou seja, fomentar PLF no contexto de ILPF. Uma unidade demonstrativa do projeto para prova de conceito (PoC) foi instalada no campo experimental "Agrossilvipastoril", de 18 ha, localizado na Embrapa Gado de Corte, em Campo Grande, MS. Esse campo experimental é composto por três sistemas ILPF distintos: a) ILPF-28, com integração lavoura-pecuária-floresta contendo

89 árvores por hectare; b) ILPF-22, com integração lavoura-pecuária-floresta contendo 113 árvores por hectare; e c) ILP, com integração lavoura-pecuária. Para o experimento do projeto, foram introduzidos na área experimental 32 animais recém-desmamados da raça Nelore com idade aproximada de 12 meses, sendo que 12 deles no sistema ILPF-28, 12 no sistema ILPF-22 e 8 no sistema ILP. Independentemente do sistema ILPF, os animais foram alimentados somente com pastagem. A arquitetura da plataforma IoT para o PoC realizado durante a execução do projeto foi definida considerando três tipos de sensores distintos: a) cabrestos inteligentes, instalados individualmente em cada animal e capazes de coletar informações como temperatura do pelame e frequência cardíaca e respiratória; b) estações microclimáticas, instaladas individualmente em cada sistema de produção e capazes de coletar informações como temperatura e umidade relativa do ar, velocidade e direção do vento e radiação solar; e c) balanças de passagem, também instaladas individualmente em cada sistema e capazes de fornecer valores de pesagens diárias para cada animal. Trata-se, portanto, de um projeto de PLF aplicado à pecuária de corte extensiva, com foco na fase de recria com sistema de produção ILPF.

A realização de pesagens frequentes dos animais é uma fonte importante de informação para a tomada de decisão, baseada em dados e tecnologia de informação, na produção de gado de corte (Coimma, 2022). Por exemplo, para cálculo do ganho de peso (ganho de peso em um determinado período) e identificação do momento em que uma meta é atingida (ex: momento em que os animais atingem 20@ na fase de recria ou 30@ na fase de terminação, quando estão prontos para o abate), entre outros. Nesse contexto, é preciso, inicialmente, estabelecer a frequência de pesagem dos animais que, por sua vez, é influenciada por fatores como a) custo associado ao manejo, b) disponibilidade de mão-de-obra treinada; c) vermifugação; e d) vacinação; entre outros manejos que dependam da contenção dos animais em um brete. Já no contexto do PoC apresentado acima, com o uso de balanças de passagem, essa preocupação desaparece, pois as pesagens passam a ser realizadas de forma automática e com uma frequência diária. Note que neste caso o peso bruto reportado pela balança de passagem é assumido como o peso do animal, visto que não há um protocolo de pesagem (ex: animais levados para o brete em jejum). Em adição, no contexto da PLF espera-se que o manejo dos animais seja realizado de forma individual.

O presente estudo considera os dados de pesagem diários coletados pelas balanças de passagem do PoC e foca em seu tratamento no contexto de PLF para obtenção de informações de interesse para a tomada de decisão em pecuária de corte. Um Filtro de FK é proposto para processar os dados brutos obtidos das balanças de passagem (Zarchan; Mussoff, 2005; Brown; Hwang, 2012). FK são estimadores de estados de sistemas dinâmicos na presença de ruídos. Utilizando uma representação de sistemas em espaço de estados, ele assimila medidas imprecisas (com ruído) para obter uma estimativa mais precisa para o estado atual, podendo ainda realizar previsões para estados futuros. FK é implementado como um algoritmo iterativo em que a cada passo, uma nova medida é utilizada para atualização dos estados do sistema e as correspondentes medidas de incerteza. O algoritmo opera em duas fases: a) na primeira fase (predição), as estimativas correntes dos estados do sistema e as correspondentes estimativas de incerteza são atualizadas, assimilando a medida disponibilizada; b) na segunda, os estados e estimativas de incerteza são projetados para utilização no próximo passo de iteração. Do ponto de vista computacional, esse algoritmo é bastante atraente, pois seu processamento é muito eficiente e, em termos de memória, apenas o estado anterior precisa ser mantido. Para realização de previsões vários passos à frente (ex: 30 dias), os mesmos passos do algoritmo são executados, considerando que não existe medida observada, ou seja, apenas o modelo interno considerado pelo FK, nesse caso um polinômio de grau 2 descrito por suas variáveis de estado, é utilizado. Baseado no raciocínio de que o ganho de peso de um animal em um dia é suficientemente pequeno, argumenta-se que essa dinâmica pode ser modelada por uma função contínua<sup>1</sup> e, por consequência, aproximada localmente por um polinômio de grau 2, cujos parâmetros são atualizados à medida que novas pesagens são coletadas. A utilização dessa aproximação permite que: a) os ruídos presentes nas medidas obtidas das balanças sejam reduzidos; b) um valor de ga-

---

<sup>1</sup> Este argumento é suportado tanto pela literatura quanto por experimento: a) tradicionalmente, o acompanhamento do crescimento dos animais por meio do ganho de peso se dá pelo ajuste de curvas de crescimento expressas por funções matemáticas não-lineares (Lopes et al., 2016) e, portanto, sujeitas a aproximação em torno de uma vizinhança por polinômios, usualmente de graus 1 ou 2; e b) Utilizando dados de 48 animais com 13 pesagens obtidas durante a fase de recria, a trajetória de ganho de peso para cada animal foi ajustada por um modelo em que as trajetórias são descritas por polinômios de grau 2, obtendo-se um valor de coeficiente de correlação igual a 0,968 e uma proporção de variância explicada pelo modelo (R<sup>2</sup>) igual a 0,937, conforme o trabalho: HIGA, R. H.; CARROMEU, C.; de OLIVEIRA, C. C.; de ALMEIDA, R. G.; SPERANZA, E. A. **Análise da viabilidade da utilização de polinômios para aproximação da trajetória de ganho de peso de bovinos de corte na fase de recria** (em fase de elaboração).

nho de peso diário (GPD) por animal mais coerente que aquele obtido sem a pesagem diária seja obtido; e c) os pesos individuais dos animais para um número específico de dias à frente (ex: 30 dias) sejam preditos com razoável acurácia. Argumenta-se também que, no contexto de tomada de decisão por lote, os resultados obtidos pela abordagem proposta (utilização do FKP) são equivalentes àqueles obtidos pela abordagem usual (utilização dos valores médios das pesagens obtidas diretamente das balanças).

## Material e Métodos

---

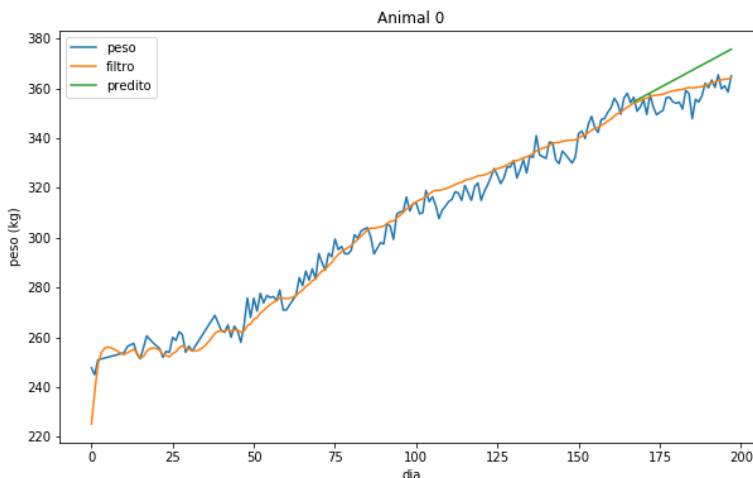
Neste experimento foi utilizado um conjunto de dados de pesagens diárias, obtidas por meio de 2 balanças de passagem incluídas no PoC desenvolvido no escopo do projeto ILPF-Conf. O experimento foi implantado em áreas dedicadas a estudos de ILPF, localizadas nas dependências da Embrapa Gado de Corte, em Campo Grande, Mato Grosso do Sul, Brasil (longitude 54°37'W, latitude 20°27'S e altitude de 530m); e as coletas foram realizadas entre os dias 17/12/2021 a 13/07/2022. Nesse período foram realizadas 209 pesagens diárias para os 36 animais incluídos no experimento. Animais com mais de 10 dias sem pesagem foram eliminados do conjunto de dados, resultando em 21 animais com 198 dias com pesagens. As pesagens correspondentes a cada um dos 21 animais foram então processadas por um FKP com parâmetros ajustados empiricamente. Para definição da variância de processo, utilizou-se um valor de densidade de potência espectral,  $\phi_s$ , igual a  $1e-8$  e a variância de sinal,  $R$ , igual a 10 kg. Foram utilizados os valores iniciais de estado,  $x_0 = [0, 0, 0]T$ , e a matriz de covariância do erro  $P_0 = \text{diag}([100., 10., 1.])$ . Esses valores refletem uma sobreavaliação para as variâncias dos estados do modelo (peso, ganho diário de peso e variação do ganho diário de peso). O filtro com os parâmetros ajustados foi então utilizado para: a) remover o ruído presente nas pesagens de cada animal; b) calcular o GPD de cada animal; e c) no dia 167, predizer o peso de cada animal 30 dias à frente, ou seja, no dia 197.

Para comparar os ganhos de peso diário obtidos nas situações com pesagens periódicas e com pesagens diárias, simulou-se um conjunto de pesagens periódicas composta pelos pesos dos 21 animais observados nos dias 0, 28, 56, 84, 112, 140, 168 e 197 (pesagens aproximadamente a cada 28 dias). O ganho de peso para cada animal em cada um dos períodos foi

calculado como a razão entre a diferença entre pesos no final e no início do período e o número de dias decorridos no período. Para avaliar o efeito de eliminação de ruídos pela utilização do FKP, analisou-se as trajetórias obtidas das diferenças entre o valor após processamento com o FKP e o peso obtido diretamente das balanças para cada um dos 21 animais. Idealmente, o ruído em sinal discreto em uma série é considerado como uma sequência de variáveis aleatórias não autocorrelacionadas com média zero e variância finita. Neste experimento, para detectar a presença de autocorrelação nas trajetórias obtidas das diferenças entre o valor após processamento com o FKP e o peso obtido diretamente das balanças, para cada um dos 21 animais, utilizou-se o teste de Ljung-Box (estatística Q), conforme implementado no pacote Python statmodels (Seabold; Perktold, 2010). Para avaliar o erro de predição<sup>2</sup> no dia 197, a partir de predições feitas no dia 168, calculou-se os erros de predição considerando como referência tanto o valor da pesagem obtido diretamente da balança de passagem quanto o valor processado pelo FKP utilizando o valor médio. Finalmente, para demonstrar a equivalência entre os resultados obtidos pela presente proposta (pesagens diárias + FKP) e aquelas obtidas a partir de pesagens periódicas (utilização dos valores médios das pesagens obtidas diretamente das balanças), no contexto de tomada de decisão por lote, comparou-se os pesos médios dos 21 animais do experimento para cada uma das 198 pesagens diárias, utilizando um teste t, conforme implementado no sub-pacote Python scipy.stats (Virtanen et al., 2020), com nível de confiança de 0.01. Por fim, considerando que FK são algoritmos iterativos que necessitam de um certo número de passos até que seus parâmetros alcancem uma razoável estabilidade, neste estudo verificou-se que essa estabilidade foi alcançada com 5 dias para o estado correspondente ao peso e 50 dias para o estado correspondente ao ganho de peso.

---

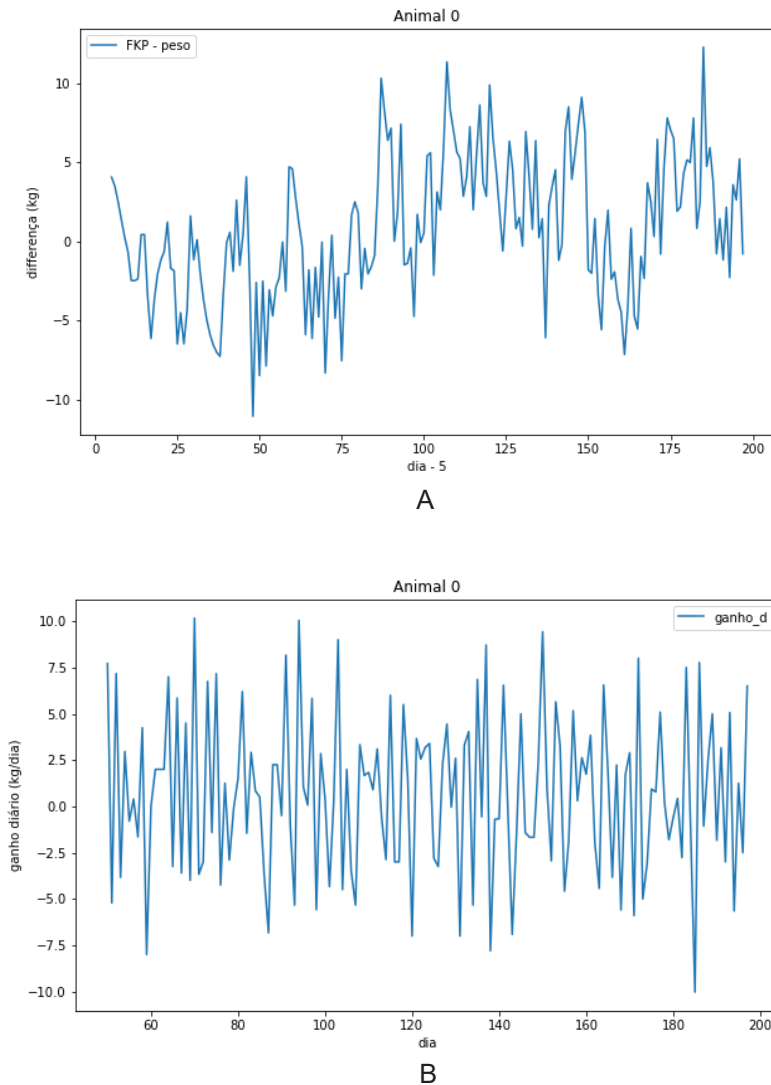
<sup>2</sup> A utilização de Filtro de Kalman Polinomial para realização de predição do peso de animais foi submetida para o Comitê Local de Publicações do CNPTIA em outro manuscrito: HIGA, R. H.; VAZ, G. J.; MANCINI, A. L.; OLIVEIRA, C. C. de; SOUZA, K. X. S. de; VECHINI, G. C. SPERANZA, E. A. **Metodologias para estimativa de peso de bovinos Nelore em sistemas extensivos a partir de pesagens diárias** (em fase de elaboração).



**Figura 1.** Trajetória de pesagens: pesagens obtidas diretamente das balanças; processadas pelo FKP; e previsões realizadas no dia 167.

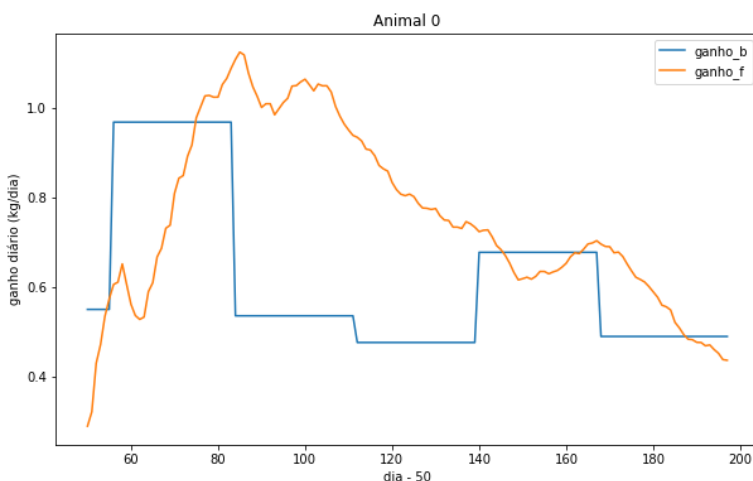
## Resultados e Discussão

Assumindo que um polinômio de grau 2 é uma representação analítica adequada para trechos da trajetória de ganho de peso de bovinos de corte criados a pasto (vide nota de rodapé 1), o conjunto de dados correspondendo a pesagens coletadas diariamente por 198 dias é utilizado para demonstrar os benefícios de se tratar os dados de pesagens diárias utilizando um Filtro de Kalman Polinomial com grau 2 (FKP) num contexto de PLF. A Figura 1 apresenta um exemplo de série de pesagens obtidas diretamente das balanças (sem processamento) e as mesmas pesagens processadas pelo FKP. Nela pode-se observar o efeito de suavização proporcionado pelo FKP.



**Figura 2.** Presença de ruído: na série resultante da diferença entre as pesagens processadas pelo FKP e pesagens obtidas diretamente das balanças (A); na série resultante da diferença de pesos entre dois dias consecutivos (GPD), obtida diretamente dos dados coletados das balanças (B).

A Figura 2A apresenta a série que resulta da diferença entre as pesagens processadas pelo FKP e as pesagens obtidas diretamente das balanças para o mesmo exemplo considerado na Figura 1. Essas séries correspondentes aos 21 animais incluídos no experimento apresentaram média e variância entre -1.943 e 2.554; e entre 14.146 e 56.783, respectivamente. Os valores obtidos para o teste de Ljung-Box resultaram em p-valores que variaram de  $1.848e^{-31}$  a  $4.884e^{-5}$ , indicando ausência de autocorrelação nos dados. Em outras palavras, o processamento das pesagens com FKP tendem a remover do sinal (pesagens) a parte correspondente a ruídos.



**Figura 3.** GPD obtido a partir do processamento dos dados com FKP e por simulação de pesagens a cada 28 dias.

ganho\_b: GPD bruto, obtido a partir dos dados das balanças, com simulação de pesagem a cada 28 dias.

ganho\_f: GPD obtido via processamento com FKP.

Dentre os parâmetros obtidos a partir das pesagens periódicas dos animais, talvez o mais importante no contexto de tomada de decisão seja o GPD, que pode ser calculado para um lote de animais ou para cada animal individualmente. Este parâmetro é calculado como  $GPD = \frac{\Delta P}{\Delta T}$ , sendo  $\Delta P$  a diferença de pesos no final e início do período correspondente,  $\Delta T$ . Usualmente,  $\Delta T$  varia dependendo de fatores específicos de cada unidade de produção,



podendo compreender vários dias ou meses. Num contexto de PLF com pesagens diárias sem nenhum processamento, ao utilizar esse mesmo procedimento para obter o ganho de peso por animal obtém-se basicamente ruído, conforme exemplificado na Figura 2A. Não é possível, portanto, utilizar esse procedimento para obtenção do GPD. Um procedimento possível é utilizar um intervalo de tempo maior entre pesagens. A Figura 3 apresenta um exemplo de trajetória do GPD obtido a partir do processamento dos dados com FKP e aquele obtido utilizando um intervalo de 28 dias entre pesagens. Note que neste último caso, o valor de GPD utilizado para tomada de decisão durante o período  $p_t$  corresponde ao ganho de peso no período  $p_{t-1}$ . Assim, considerando o exemplo da Figura 3, o valor de GPD utilizado entre os dias 84 e 112 é de 0.968, correspondente ao ganho de peso entre os dias 28 e 83. Já quando utilizando o FKP o GPD varia de forma suave ao longo do período, levando em conta o dado de pesagem diária mais recente e, portanto, disponibilizando uma informação mais precisa para tomada de decisão.

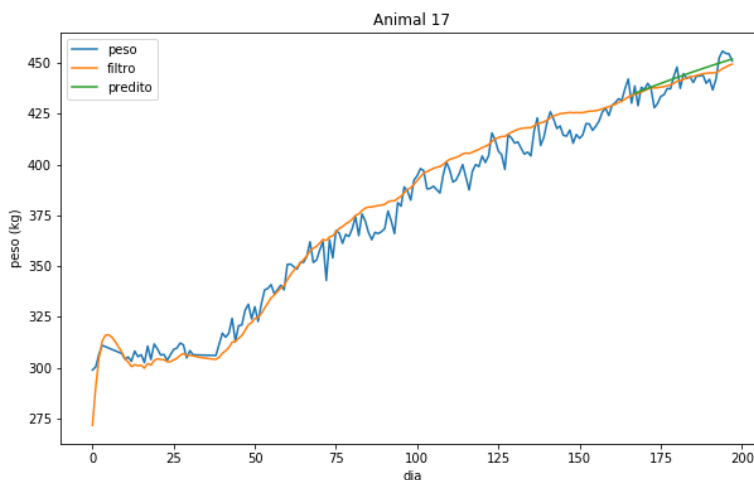
Por construção, um FK mantém uma representação de espaço de estados de um modelo matemático representando a entrada (dias) e saída (peso) do objeto em estudo, ajustando seus parâmetros à medida que novos dados são assimilados. Além de funcionar como um filtro, estimando valor do sinal de saída a partir de medidas que incluem ruídos, o FK também permite que sejam realizadas a imputação de dados faltantes e a predição da saída (peso)  $k$  (30) dias à frente. A Tabela 1 apresenta algumas estatísticas descritivas dos erros que resultaram da predição do peso, realizada no dia 168, para cada um dos animais, considerando como alvo o dia 197.

**Tabela 1.** Estatísticas descritivas dos erros de predição para os 21 animais.

	erro (balança) <sup>(1)</sup>	erro (FKP) <sup>(2)</sup>
média	4.261	2.642
desvio padrão	13.923	12.613
mínimo	-32.132	-27.442
percentil 25	1.554	-2.409
mediana	4.810	3.446
percentil 75	11.929	11.428
máximo	28.660	21.175

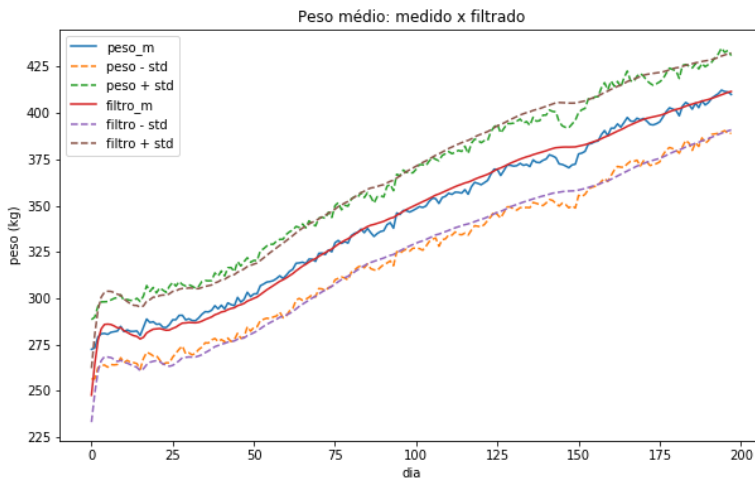
<sup>(1)</sup> erro (balança): erros de predição avaliados diretamente em relação às medidas obtidas das balanças.

<sup>(2)</sup> erro (FKP): erro de predição avaliado em relação ao peso após processamento com o FKP.

**Figura 4.** Predição, no dia 168, para o peso do animal 17 no dia 197.

A Figura 4 ilustra um caso em que a predição é muito boa, com um erro máximo de 2.553 kg (erro (balança): 0.974 kg; erro (FKP): 2.553 kg). Já a Figura 1 ilustra um caso em que há um erro de predição maior (erro (balança): 10.658 kg; erro (FKP): 11.428 kg), que pode ser explicado por uma mudança brusca na tendência de ganho de peso pouco depois do momento em que foi realizada a predição. Esse erro será tanto maior quanto mais brusca for

a alteração de tendência entre os momentos da realização da predição e o momento para o qual o peso está sendo predito. Além disso, quanto maior o tempo entre a realização da predição e o correspondente ao peso predito, maior as chances de ocorrência de uma mudança brusca na tendência de ganho de peso.



**Figura 5.** Peso médio do lote de 21 animais utilizando dados obtidos diretamente das balanças (peso) e após processamento com FKP (filtro).

Peso\_m: peso médio obtido da balança; peso - std e peso + std: peso médio obtido da balança (-) ou (+) o desvio padrão; filtro\_m: peso médio estimado pelo FKP; filtro - std e filtro + std: peso médio estimado pelo FKP (-) ou (+) o desvio padrão.

Finalmente, para avaliar o impacto da utilização de FKP quando a tomada de decisão baseia-se no peso médio do lote, comparou-se os pesos médios nessa situação com aqueles calculados a partir dos pesos obtidos diretamente das balanças, para cada um dos 198 dias de pesagem. Utilizando um teste t com nível de significância igual a  $1e^{-2}$ , verificou-se que os pesos médios são estatisticamente iguais para todos os dias, exceto para dia 0, o que pode ser explicado pelo período de estabilização inicial do FKP. A diferença entre as médias das pesagens obtidas diretamente das balanças e após processamento com FKP foi igual a -0.319 com desvio padrão igual a 3.869. Com base nesses resultados, pode-se afirmar que a tomada de decisão baseada

no peso médio do lote não é influenciada pelo processamento das pesagens com FKP.

## Conclusões e Trabalhos Futuros

---

O presente estudo analisou a utilização de um FKP para processar dados de pesagem coletados diariamente em um contexto de Pecuária de Precisão. A ideia foi aproximar trechos da curva de ganho de peso para cada animal por um polinômio de grau 2, utilizando-o para extrair informações como o ganho diário de peso e realizar predições do peso de um animal 30 dias à frente.

Utilizando o conjunto de dados coletados no escopo do PoC vinculado ao projeto “Sistema integrado de IoT e IA para monitoramento de indicadores de produtividade, ambientais e de bem-estar animal em sistemas ILPF, demonstrou-se que o processamento de dados de pesagem diária com o Filtro de Kalman Polinomial reduz o ruído presente nos dados, viabiliza a extração do ganho de peso diário por animal, bem como a realização de predições do peso, por animal, 30 dias à frente. Adicionalmente, a utilização do Filtro de Kalman Polinomial não impacta o peso médio do lote e, portanto, não afeta as decisões tomadas nesse contexto.

Como trabalhos futuros, há a necessidade de substituir o processo ad hoc para definição dos parâmetros de variâncias/covariâncias do Filtro de Kalman por um processo sistemático. Adicionalmente, também é preciso avaliar a utilização do Filtro de Kalman com outros modelos descritores da dinâmica de ganho de peso de bovinos de corte. Diferente da ideia de aproximar localmente a trajetória de ganho de peso, a utilização desses modelos pode viabilizar a realização de predições para um número maior de dias à frente, inclusive viabilizando sua utilização em sistemas que integrem as fases de cria e recria ou recria e engorda. Finalmente, cabe ressaltar que apesar dos resultados apresentados serem baseados apenas em animais da raça Nelore, nenhuma pressuposição sobre a raça dos animais foi assumida. Dessa forma, é esperado que o método apresentado seja igualmente aplicável a outras raças de bovinos de corte.

## Referências

---

- AQUILANI, C.; CONFESSORE, A.; BOZZI, R.; SIRTORI, F.; PUGLIESE, C. Review: precision livestock farming technologies in pasture-based systems. **Animal**, v. 16, n. 1, 100429, Jan. 2022. DOI: [10.1016/j.animal.2021.100429](https://doi.org/10.1016/j.animal.2021.100429).
- BERCKEMANS, D. General introduction to precision livestock farming. **Animal Frontiers**, v. 7, n. 1, p.6-11, Jan. 2017. DOI: [10.2527/af.2017.0102](https://doi.org/10.2527/af.2017.0102).
- BRASIL. Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento. **Plano ABC - agricultura de baixa emissão de carbono**. Disponível em: <https://www.gov.br/agricultura/pt-br/assuntos/sustentabilidade/plano-abc/plano-abc-agricultura-de-baixa-emissao-de-carbono>. Acesso em: 15 set. 2022.
- BROWN, R. G.; HWANG, P. Y. C. **Introduction to random signals and applied Kalman filtering with MATLAB exercises**. 4. ed. Hoboken: John Wiley & Sons, 2012. 383 p.
- CEZAR, I. M.; QUEIROZ, H. P.; THIAGO, L. R. L. de S.; CASSALES, F. L. G.; COSTA, F. P. **Sistemas de produção de gado de corte no Brasil**: uma descrição com ênfase no regime alimentar e no abate. Campo Grande: Embrapa Gado de Corte, 2005. 40 p. (Embrapa Gado de Corte. Documentos, 151). Disponível em: <http://www.infoteca.cnptia.embrapa.br/infoteca/handle/doc/326307>. Acesso em: 16 nov. 2022.
- COIMMA . **BalPass**. Disponível em: <https://coimma.com.br/balpass>. Acesso em 15 set. 2022.
- EMBRAPA. **Sistemas de produção integrados – ILPF**. Disponível em: <https://www.embrapa.br/en/qualidade-da-carne/carne-bovina/producao-de-carne-bovina/sistemas-de-producao-integrados-ilpf>. Acesso em: 15 set. 2022.
- LOPES, F. B.; MAGNABOSCO, C. de U.; SOUZA, F. M. de; ASSIS, A. S. de; BRUNES, L. C. Análises de dados longitudinais em bovinos Nelore Mocho por meio de modelos não lineares. **Archivos de Zootecnia**, v. 65, n. 250, p. 123-129, 2016. DOI: [10.21071/az.v65i250.478](https://doi.org/10.21071/az.v65i250.478).
- MACHADO, L. A. Z.; BALBINO, L. C.; CECCON, G. **Integração lavoura-pecuária-floresta. 1. Estruturação dos sistemas de integração lavoura-pecuária**. Dourados: Embrapa Pecuária Oeste, 2011. 46 p. (Embrapa Agropecuária Oeste. Documentos, 110). Disponível em: <http://www.infoteca.cnptia.embrapa.br/infoteca/handle/doc/923615>. Acesso em: 16 nov. 2022.
- REDE ILPF. **O que é a Rede ILPF**. Disponível em: <https://redeilpf.org.br/>. Acesso em: 15 set 2022.
- SEABOLD, S.; PERKTOLD, J. Statsmodels: econometric and statistical modeling with python. In: PYTHON IN SCIENCE CONFERENCE, 9., 2010, Austin. **Proceedings...** [S.l.: s.n.], 2010. p. 92-96. Editores: Stéfan van der Walt, Jarrod Millman. DOI: [10.25080/Majora-92bf1922-011](https://doi.org/10.25080/Majora-92bf1922-011).
- SPERANZA, E. A.; HIGA, R. H.; VISOLI, M. C.; MARTINS, C.; CARROMEU, C. Plataforma de internet das coisas para monitoramento de produtividade e bem-estar animal em sistemas de integração lavoura-pecuária-floresta. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE AGRICULTURA DE PRECISÃO, 2022, Campinas. **Anais...** Campinas: Associação Brasileira de Agricultura de Precisão, 2022. p. 378-385. Edição Técnica: Leandro Maria Gimenez, Christian Bredemeier. ConBAP 2022.
- TERRASSON, G.; VILLENEUVE, V.P.; PILNIÈRE, V.; LLARIA, A. Precision livestock farming: a multidisciplinary paradigm. In: INTERNATIONAL CONFERENCE ON SMART CITIES, SYSTEMS, DEVICES AND TECHNOLOGIES, 6.; SYMPOSIUM FOR EMPOWERING AND SMART INTERFACES IN ENGINEERING, 2017, Venice. **[Proceedings...]**. [S.I.]: IARIA, 2022. p. 55-59.

VIRTANEN, P.; GOMMERS, R.; OLIPHANT, T. E.; HABERLAND, M.; REDDY, T.; COURNAPEAU, D.; BUROVSKI, E.; PETERSON, P.; WECKESSER, W.; BRIGHT, J.; VAN DER WALT, S. J.; BRETT, M.; WILSON, J.; MILLMAN, K. J.; MAYOROV, N.; NELSON, A. R. J.; JONES, E.; KERN, R.; LARSON, E.; CAREY, C. J.; POLAT, I.; FENG, Y.; MOORE, E. W.; VANDERPLAS, J.; LAXALDE, D.; PERKTOLD, J.; CIMRMAN, R.; HENRIKSEN, I.; QUINTERO, E. A.; HARRIS, C. R.; ARCHIBALD, A. M.; RIBEIRO, A. H.; PEDREGOSA, F.; VAN MULBREGT, P. SciPy 1.0 Contributors. SciPy 1.0: fundamental algorithms for scientific computing in Python. **Nature Methods**, v. 17, p. 261-272, Mar. 2020. DOI: [10.1038/s41592-019-0686-2](https://doi.org/10.1038/s41592-019-0686-2).

ZARCHAN, P.; MUSOFF, H. **Fundamentals of Kalman Filtering**: a practical approach. 2. ed.. Reston: American Institute of Aeronautics and Astronautics, 2005.

**Embrapa**

---

***Agricultura Digital***