Universidade de São Paulo
Escola Superior de Agricultura "Luiz de Queiroz"

Contribuição para a pecuária de precisão aplicada à bovinocultura de corte: metodologias de análise para pesagens em tempo real

Danieli Perez da Silva

Dissertação apresentada para obtenção do título de Mestra em Ciências. Área de concentração: Ciência Animal e Pastagens

Piracicaba
2019

Danieli Perez da Silva
Zootecnista

Contribuição para a pecuária de precisão aplicada à bovinocultura de corte: metodologias de análise para pesagens em tempo real

versão revisada de acordo com a resolução CoPGr 6018 de 2011

Orientador:
Prof. Dr. **DANTE PAZZANESE DUARTE LANNA**

Dissertação apresentada para obtenção do título de Mestra em Ciências. Área de concentração: Ciência Animal e Pastagens

Piracicaba
2019

Dados Internacionais de Catalogação na Publicação
DIVISÃO DE BIBLIOTECA – DIBD/ESALQ/USP

Silva, Danieli Perez

Contribuição para a pecuária de precisão aplicada à bovinocultura de corte: metodologias de análise para pesagens em tempo real / Danieli Perez da Silva. - - versão revisada de acordo com a resolução CoPGr 6018 de 2011. - - Piracicaba, 2019.

44 p.

Dissertação (Mestrado) - - USP / Escola Superior de Agricultura "Luiz de Queiroz".

1. *Bos indicus* 2. LOWESS 3. Peso vivo diário 4. *Splines* I. Título

EPÍGRAFE

Atravessamos o inverno e a casca é fina,
se andarmos devagar o chão racha.
(Zygmunt Bauman)

– ...eu só queria saber para que lado devo ir – disse Alice.
– Bem, isso depende do lugar para onde você quer chegar – respondeu o gato.
– Isso não importa, contando que eu...
– Então, não importa para que lado você vá – disse o gato.
(Lewis Carroll)

Assim, mesmo inserido na modernidade líquida, não se permita, após percebido,
continuar sem se questionar sobre o que realmente importa.

SUMÁRIO

RESUMO 5
ABSTRACT 6
1. INTRODUÇÃO 7
2. MATERIAL E MÉTODOS 11
2.1. Animais e coleta de dados 11
2.2. Processamento e análise dos dados 15
2.2.1. Identificação e remoção dos outliers 15
2.2.2. Análise geral e descritiva do peso vivo diário 18
2.2.3. Análise da concordância entre os sistemas de pesagens 18
2.2.4. Suavização dos dados de peso vivo e mensuração do ganho de peso 20
3. RESULTADOS E DISCUSSÃO 23
3.1. Procedimento inicial: identificação e remoção de dados atípicos 23
3.2. Análise geral e descritiva do peso vivo diário 25
3.3. Sistema automático versus sistema convencional de pesagem 28
3.4. Suavização dos dados de peso vivo e variação do ganho de peso 31
4. CONCLUSÕES 39
REFERÊNCIAS 41

RESUMO

Contribuição para a pecuária de precisão aplicada à bovinocultura de corte: metodologias de análise para pesagens em tempo real

A introdução de sistemas automáticos de pesagem tem possibilitado a mensuração do peso vivo em tempo real, sem a necessidade de remover os animais de piquetes e manejá-los em currais com tronco de contenção e balanças. Embora estes equipamentos estejam disponíveis, sua contribuição para tomadas de decisões e gestão da produção de bovinos de corte é ainda pequena, principalmente em função de seu custo e da falta do desenvolvimento de metodologias para processamento e análise do volume de dados produzido. Neste contexto, o presente estudo teve como objetivo central testar e propor metodologias de análise para os dados de peso vivo provenientes de sistemas automáticos de pesagem, que possibilitem a percepção das relações não lineares entre o desempenho dos animais e o tempo. Para isso, este estudo foi subdividido em duas etapas: *i*) a primeira caracterizou-se pela avaliação do uso do sistema de plataformas de pesagem corporal automática (modelo VW 1000, Intergado®, Brasil) em fazenda comercial de bovinos Nelore P.O., sendo verificado a coerência biológica dos dados e analisado o grau de concordância entre este sistema e o sistema convencional de pesagem. *ii*) A segunda etapa caracterizou-se pela busca de ferramentas computacionais que permitissem mensurar o ganho de peso diário de modo a acompanhar suas variações em tempo real. Para isso, dois métodos de suavização foram analisados: a) Suavizador de gráfico de dispersão localmente ponderado (do inglês, Locally-Weighted Scatterplot Smoother, LOWESS) e *b*) B-spline penalizada (do inglês, Penalized B-splines, PB-splines). Ambos os métodos apresentaram bons ajustes aos dados de peso vivo, mas LOWESS estimou curvas menos suaves, as quais resultaram, por sua vez, em trajetórias de ganho de peso com maior variabilidade. Por outro lado, o método de suavização PB-splines estimou curvas com estruturas mais rígidas às flutuações que ocorrem com o peso vivo, não distorcendo, porém, a relação de dependência entre as variáveis. Assim, o presente estudo possibilitou afirmar que sistemas automáticos de pesagem, quando integrados aos métodos de suavização de dados aqui explorados, permitem estimar a relação entre o peso vivo e o tempo sem o estabelecimento prévio de uma função. Com isso, permitem também a construção de trajetórias de ganho de peso diário passíveis de serem utilizadas para a identificação de problemas tanto de lote quanto de indivíduos. As ferramentas aqui exploradas poderão auxiliar os futuros estudos de identificação das variações do ganho de peso inerentes aos animais ou ao ambiente, permitindo, assim, melhorar a identificação de problemas em sistemas de pecuária de precisão.

Palavras-chave: *Bos indicus*; LOWESS; Peso vivo diário; *Splines*

ABSTRACT

Contribution to precision livestock farming for beef cattle: analysis methodologies for real-time weighing

The introduction of automatic weighing systems presents opportunities to record cattle body weight multiple times per day without the need to remove them from pens or paddocks and handling them in squeeze-chute equipped with static weighing systems. Although these systems are available, its contribution to decision making in beef cattle management is still rather small. This area remains uninvestigated partially because the steps to data processing and analysis are not well defined, reducing the potential of this system to monitoring changes in animal performance. In this context, the main objective of this study was to develop an approach for analyzing the body weight records by an automatic weighing system that describes and shows the nonlinearity of the animal performance as a function of time. For this, the study was subdivided in two steps; First, daily body weight of Nelore cattle were collected in a commercial farm and analyzed in relation its biological coherence and to understand the agreement of such weighing systems to the conventional system. Second, characterization was performed, by the search for computational tools that allowed to measure the daily weight gain to follow its real variations. For this, two smoothing techniques were analyzed: a) Locally-Weighted Scatterplot Smoother (LOWESS), and b) penalized B-spline (PB-spline). Both techniques fitted well the body weight data, but LOWESS estimated curves less smoothed, which resulted in daily body weight gain trajectories with greater variability. On the other hand, the penalized PB-spline estimated curves that had structures more rigid to fluctuations that occur with body weight. But the form of the regression function not distorted the dependence relationship between the two variables. Thus, the present study concluded that automatic weighing systems when integrated with the smoothing techniques used allowed us to estimate the structural form between body weight and time without the reference to a specific model. Hence, it allowed the construction of daily weight gain trajectories that may be used to identify problems in pens or in individual animals. The tools used here may help future studies to identify the inherent and unnatural variations of daily weight gain, thus improving the efficiency of identifying problems in animal performance.

Keywords: *Bos indicus*; LOWESS; Daily body weight; Splines

1. INTRODUÇÃO

A acurácia na determinação do peso vivo em bovinos de corte tem sido discutida e revisada por muitos anos. Vários autores demonstraram que a pesagem convencional destes animais (i.e., conduzi-los das baias ou piquetes a currais de manejo providos de tronco de contenção e balança eletrônica) apresenta diversos problemas que podem diminuir a acurácia e precisão das informações coletadas. Dentre eles, a não calibração das balanças e o manuseio incorreto do tronco de contenção, atrelados às flutuações diárias que ocorrem com o peso vivo em função das mudanças do conteúdo do trato gastrointestinal e dos fluidos corporais, são problemas recorrentes e que contribuem para diferenças, às vezes acentuadas, da variável peso vivo em relação a variável peso do corpo vazio (LUSH & BLACK, 1927; KOCH et al., 1958; ANDERSON & WEEKS, 1989; OWENS et al., 1995; REUTER & MOFFET, 2016).

Neste contexto, diversas metodologias para a mensuração do peso vivo começaram a serem analisadas, visando encontrar aquela que gerasse valores acurados. Esta busca, somada ao desejo de pesar os animais frequentemente para facilitar os estudos sobre variações do desempenho, levaram ao desenvolvimento de sistemas automáticos de pesagem. A primeira balança automática e o primeiro teste a campo com bovinos de corte foram descritos por Martin et al. (1967). Estes autores desenvolveram um sistema no qual o animal passaria de forma voluntária pela plataforma de pesagem em busca de água ou alimento. Neste momento os animais seriam pesados de modo que o manejo operacional não causasse alterações em seu comportamento natural. Consequentemente, as taxas de ganho de peso não seriam afetadas. Entretanto, conforme descrito pelos autores, ainda era preciso desenvolver um sistema que pudesse identificar o animal de forma automática. No final dos anos 60 e início dos anos 70, este sistema de identificação animal eletrônica tornou-se realidade (STREET, 1979) e em 1981 foi publicado o primeiro estudo acoplando a identificação eletrônica com a pesagem automática (ANDERSON et al., 1981).

A automatização das pesagens e da identificação dos animais, somadas ao avanço da tecnologia de informação, possibilitaram cessar as limitações decorrentes do armazenamento, transmissão e acesso aos dados de peso vivo. Atualmente, o desempenho dos animais pode ser visualizado por meio de dispositivos que possuam conexão à internet, permitindo, assim, que seu monitoramento ocorra em escala diária. Esta característica dos sistemas automáticos de pesagem fez com que as principais limitações do sistema convencional passassem das características anteriormente mencionadas para os longos intervalos entre as pesagens feitas no

curral. Este intervalo resultava na ausência de informações que poderiam ser utilizadas para a identificação precoce de quedas no desempenho dos animais. Assim, os objetivos centrais dos atuais estudos relacionados a sistemas automáticos de pesagem tem sido explorá-los de modo a possibilitarem diagnóstico precoce de uma temporária desordem fisiológica, bem como possibilitarem melhorias no manejo nutricional e reprodutivo (MALTZ et al., 1997; ALAWNEH et al., 2012; ALDRIDGE et al., 2016; MENZIES et al., 2018).

No entanto, monitorar o desempenho dos animais de modo a identificar de forma precoce causas de variação que requerem ações corretivas, exige inicialmente o conhecimento das variações que são inerentes as variáveis a serem controladas. A incompreensão das informações, em termos de variação, resulta no insucesso das tomadas de decisões e da gestão de processos (DEMING, 2000; MONTGOMERY, 2009; DE VRIES & RENEAU, 2010). Mas transformar dados em decisões requer a veracidade dos mesmos e esta somente é alcançada quando as etapas de processamento e análise estão bem definidas e dominadas, permitindo o acompanhamento da realidade.

Até o presente momento, pouco se conhece ainda sobre a correta condução destas etapas para os atuais sistemas automáticos de pesagem, tampouco a eficiência do uso destes equipamentos em sistemas comerciais. Apenas um estudo realizado com vacas leiteiras detalhou as análises da metodologia utilizada para a identificação e remoção de dados inconsistentes, os quais são comuns em sistemas automáticos de pesagem (ALAWNEH et al., 2011). Conhecer e analisar estes dados duvidosos, para que, assim, eles possam ser excluídos, é fundamental tanto para a escolha do procedimento a ser adotado, quanto para a mensuração das variações do desempenho dos animais. Subestimativas ou superestimativas do desempenho podem ocorrer dependendo de como é realizado este procedimento inicial de remoção de dados atípicos.

Com relação as etapas de análise, recentes estudos demonstraram que os dados de sistemas automáticos de pesagem podem ser processados com algoritmos do suavizador de gráfico de dispersão localmente ponderado, também conhecido como LOWESS (*Locally-Weighted Scatterplot Smoother*). Esta análise não paramétrica possibilitou melhores estimativas de peso vivo quando comparadas as tradicionais regressões paramétricas (ALDRIDGE et al., 2016; REUTER & MOFFET, 2016). No entanto, embora ela venha sendo classificada como a melhor ferramenta de análise, esta não foi ainda explorada quanto a sua utilização para estimativas do ganho de peso, exploração fundamental para compreender e visualizar as mudanças do peso vivo. Ademais, o campo da modelagem por meio de suavizadores é vasto e têm tido um crescimento notável nas últimas três décadas, principalmente pelas facilidades

proporcionadas pela computação moderna (FAN, 2000). Dentre os diversos suavizadores, os splines são os mais populares métodos de estimar curvas por meio da suavização, sendo recomendados para o ajuste de curvas de crescimento, em função de sua flexibilidade e diferentes métodos de aplicação (VERBYLA et al. 1999).

Neste contexto, explorar o uso destes dois métodos de suavização (i.e., LOWESS e PB-splines), tanto para o ajuste de dados de peso vivo quanto para construção de trajetórias de ganho de peso diário, proporcionaria melhor compreensão de como processar e analisar os dados de sistemas automáticos de pesagem de modo a visualizar as reais alterações do desempenho dos animais. Assim, o presente estudo, de caráter exploratório, foi conduzido visando: i) avaliar o uso do sistema de pesagem corporal automática (modelo VW 1000, Intergado®, Brasil) em fazenda comercial de bovinos Nelore P.O.; ii) explorar os dados diários, de modo a quantificar e estudar a natureza dos outliers; iii) quantificar e interpretar o grau de concordância entre o sistema automático e o convencional de pesagem; e iv) analisar o uso das técnicas de suavização LOWESS e PB-splines para o ajuste dos dados de peso vivo e construção de trajetórias de ganho de peso em escala diária. Os autores deste trabalho acreditam que as ferramentas aqui exploradas poderão auxiliar os futuros estudos de identificação das variações inerentes e não naturais do peso vivo e do ganho de peso mensurados em escala diária. Dessa forma, estaremos dando um passo para melhor a eficiência e precocidade na identificação de problemas no desempenho dos animais.

2. MATERIAL E MÉTODOS

2.1. Animais e coleta de dados

O presente estudo exploratório foi conduzido em fazenda comercial dedicada à criação e seleção de bovinos da raça Nelore, localizada na cidade de Bom Sucesso, no estado do Paraná, no período de 21 de julho a 21 de novembro de 2016. Foram utilizados 140 animais, sendo 50 novilhas com idade de 9 a 16 meses (peso vivo médio inicial de 292 ± 26,9 kg), 50 touros com idade de 11 a 16 meses (peso vivo médio inicial de 317 ± 37,5 kg) e 40 touros com idade de 18 a 25 meses (peso vivo médio inicial de 392 ± 36,3 kg). Os animais foram distribuídos em três baias coletivas, separados de acordo com a categoria animal, sendo alimentados três vezes ao dia (*i.e.*, 8h00, 11h00 e as 16h30, aproximadamente) com dietas balanceadas para atingir ganho de peso médio de aproximadamente 1,0 kg/dia (Tabela 1; Figura 1).

Tabela 1 - Ingredientes e composição das dietas (% da matéria seca)

Item	Dietas			
	Dieta 1	Dieta 2	Dieta 3	Dieta 4
Ingredientes				
Silagem de cana-de-açúcar[1]	0,00	0,00	55,00	55,00
Silagem de milho	70,00	54,00	0,00	0,00
Milho grão seco moído	0,00	0,00	0,00	39,90
Silagem de grão úmido de milho	18,40	38,50	39,90	0,00
Farelo de soja 45%	9,30	4,70	3,20	3,20
Calcário	0,87	1,11	1,18	1,18
Ureia	0,86	1,20	0,00	0,00
Cloreto de sódio	0,00	0,00	0,20	0,20
Núcleo mineral[2]	0,55	0,54	0,56	0,56
Composição química[3]				
NDT $_{\text{tabelado}}$	68,47	73,05	68,91	67,51
Proteína Bruta	13,98	13,40	13,50	13,91
Extrato Etéreo	3,08	3,37	2,84	2,84
Fibra em detergente neutro	40,44	33,36	41,06	42,30

[1]Silagem de cana-de-açúcar tratada com 1% ureia na matéria original; [2]O núcleo mineral contém por kg 45,4 g de Ca; 73,4 g de S; 34,9 g de P; 30,9 g de Mg; 213,1 g de Na; 82 mg de Co; 1.871 mg de Cu; 1.000 mg de Fe; 130 mg de I; 3.670 mg de Mn; 26 mg de Se; 5.564 mg de Zn; 295.000 UI de vitamina A; e 2.420 mg de Salinomicina equivalente a 13,31 mg/kg na matéria seca da dieta; [3]Composição química estimada pelo *software* RLM 3.2 versão 3.2.

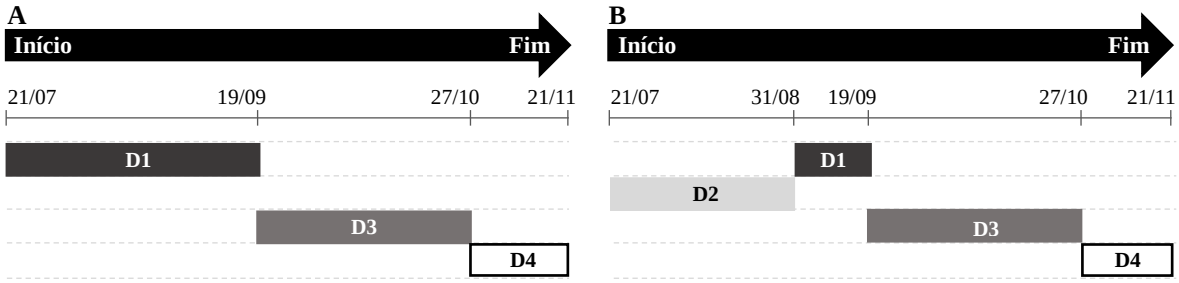

Figura 1 - Dietas 1, 2, 3 e 4 (D1, D2, D3 e D4, respectivamente) fornecidas as diferentes categorias animais ao longo do período do estudo exploratório. (A) Touros com idade de 11 a 16 meses e novilhas; (B) touros com idade de 18 a 25 meses.

A obtenção automática dos dados de peso vivo foi realizada por meio do sistema de plataformas de pesagem corporal (modelo VW 1000, resolução de 500 g, Intergado®, Brasil; Figura 2). Este sistema era composto por antenas leitoras RFID (*Radio-frequency identification*), as quais faziam a identificação dos brincos eletrônicos utilizando o protocolo de comunicação FDX; a plataforma de pesagem corporal; e o sistema de energia solar fotovoltaica, o qual era integrado a um sistema de *backup* de energia por meio de baterias. Foram utilizados brincos eletrônicos TAG para a identificação dos animais (FDX - ISO 11784/11785; Allflex, Brasil; Figura 3). O sistema de pesagem foi instalado à frente do bebedouro dentro da baia do confinamento (*i.e.*, instalação de duas plataformas de pesagem corporal automática por baia). Dessa forma, os animais entraram de forma voluntária nas plataformas de pesagem, em busca de água, permitindo, assim, a coleta de vários dados de peso vivo de um mesmo animal ao longo do dia. Os dados foram monitorados constantemente e na presença de três dias consecutivos sem registro de pesagem a troca do brinco eletrônico foi realizada.

Figura 2 - Plataforma de pesagem automática. Fonte: arquivo pessoal

Figura 3 - Brinco eletrônico tecnologia FDX. Fonte: arquivo pessoal

As plataformas de pesagem corporal foram limpas e calibradas, com o peso padrão de 25 kg, de acordo com o protocolo de calibração Intergado®. Este procedimento foi realizado a cada 28 dias durante o período do estudo exploratório. Utilizou-se este intervalo para as calibrações e limpezas a fim de evitar o acúmulo excessivo de lama, fezes e urina, uma vez que o sistema possuía algoritmos que realizavam a tara de forma automática até o peso de ± 40 kg. Assim, após os dados serem coletados e transmitidos via *wireless* ao servidor *online* da empresa Intergado®, os mesmos eram processados de modo a corrigir o peso vivo registrado para o peso da tara da balança.

O acompanhamento dos dados coletados foi realizado diariamente através do *software* de gestão Intergado®, no qual pôde-se ter acesso a dois bancos de dados: *i*) dados processados e analisados pela Intergado®, os quais chamaremos neste trabalho de "dados modelados pela empresa"; *ii*) banco de dados brutos. O banco de dados modelados pela empresa continha o ID do animal, o número do brinco eletrônico, o peso vivo e o ganho de peso diário de cada indivíduo. O banco de dados brutos continha, por sua vez, o ID do animal, o número do brinco eletrônico, os dados de cada pesagem individual (*i.e.*, peso vivo registrado em cada pesagem), data e horário de cada evento, e o número de série da plataforma utilizada pelo animal. Ambos bancos de dados foram inicialmente analisados graficamente, a fim de verificar sua coerência biológica (Figura 4). Os dados modelados pela empresa não acompanharam as flutuações do peso vivo quando coletado em escala diária. Por este motivo, no presente estudo, optou-se por utilizar somente o banco de dados brutos fornecidos pelo sistema.

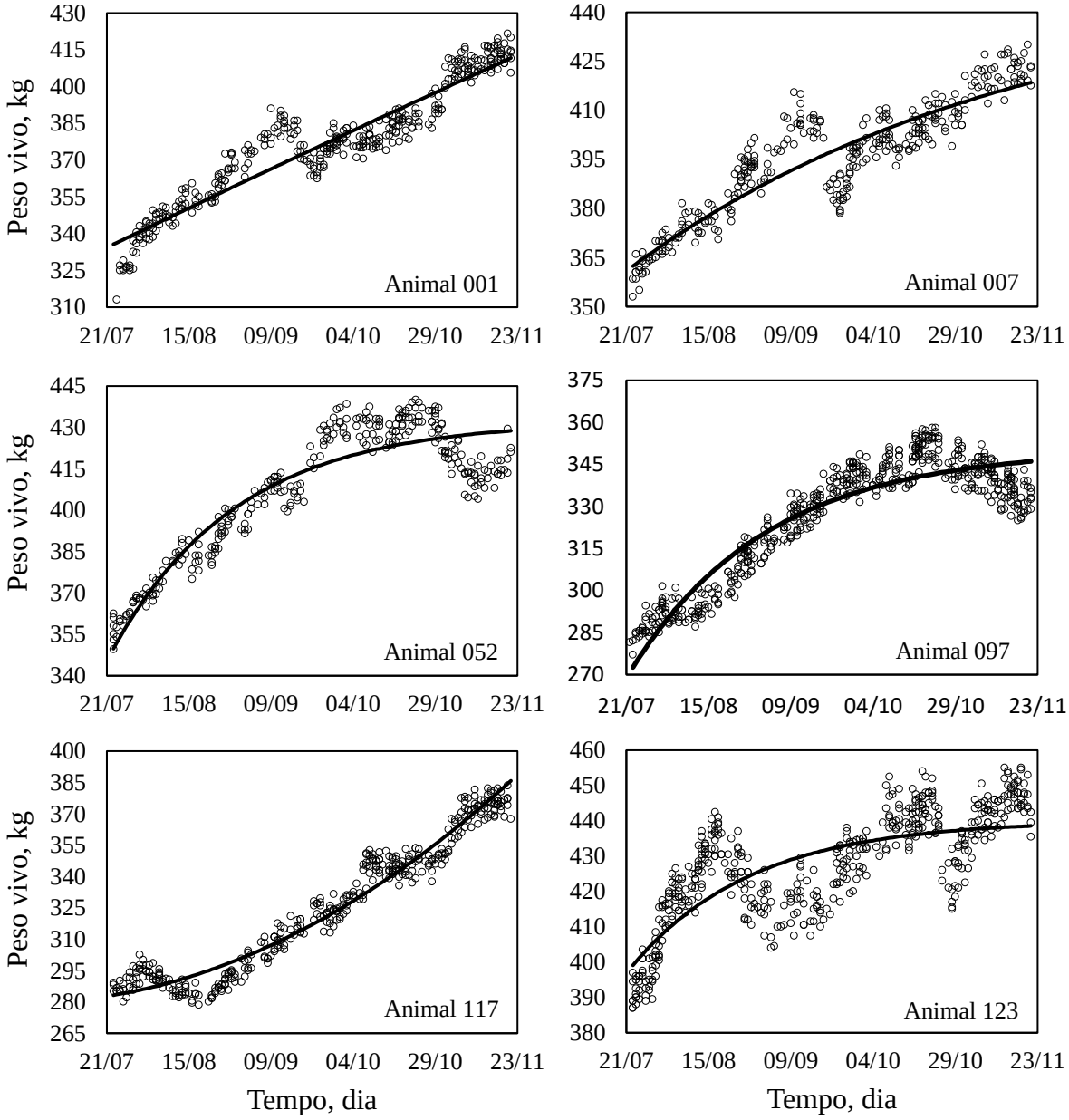

Figura 4 - Dados de peso vivo diário de seis bovinos de corte coletados ao longo do período do estudo exploratório. Os círculos (o) representam o peso vivo proveniente do banco de dados brutos, após a retirada dos *outliers*. A linha contínua mostra o peso vivo diário proveniente do banco de dados modelados pela empresa (Intergado®, Brasil).

2.2. Processamento e análise dos dados

2.2.1. Identificação e remoção dos *outliers*

O banco de dados brutos fornecido pelo sistema passou previamente por uma sequência de procedimentos para remoção dos dados atípicos, sendo estes subdivididos em duas etapas. *i)* Os dados de peso vivo de cada indivíduo foram analisados por meio do diagrama de caixa (*boxplot*), sendo considerado *outliers* e excluídos do banco de dados os valores acima da *Upper Inner Fence* (UIF) ou abaixo da *Lower Inner Fence* (LIF). Para isso, foi utilizado o procedimento UNIVARIATE (*Statistical Analysis System* - SAS *Studio University Edition*, versão 3.6), sendo gerado como *outputs* o primeiro e terceiro quartil (Q1 e Q3, respectivamente) de cada indivíduo, os quais foram utilizados para os posteriores cálculos das *fences* (*i.e.*, UIF = Q3 + 1,5*AIQ; LIF = Q1 - 1,5*AIQ; AIQ=Q3-Q1). *ii)* Após a realização da primeira etapa, ajustou-se o modelo PB-spline para cada indivíduo por meio do procedimento TRANSREG (Statistical Analysis System - SAS *Studio University Edition*, versão 3.6). Foi considerado como variável de resposta o peso vivo registrado em cada pesagem sem transformação, e como variável preditora o tempo, ou seja, dia/horário da pesagem, com transformação PBSPLINE. Utilizou-se o critério de informação bayesiano (SBC - *Schwarz's Bayesian criterion*) para a escolha do parâmetro de penalização, uma vez que os demais critérios alteraram a curva ajustada na presença de valores extremos, impossibilitando a retirada destes dados baseando-se na distância com os valores preditos (Figura 5). Estas alterações também foram analisadas na LOWESS, a qual não foi aqui adotada em função de não conter, até o presente momento, critérios estatísticos que minimizem a alteração da curva estimada na presença de valores extremos.

Dessa forma, após o ajuste do modelo PB-spline foi realizada a análise dos resíduos studentizados, mensurados por meio da equação: Resíduo studentizado = resíduo / erro padrão da estimativa do modelo PB-spline ajustado para cada indivíduo. Foram considerados *outliers* e excluídos do banco de dados os pesos vivos que geraram resíduos studentizados acima de 2,5 ou abaixo de -2,5, sendo esta etapa repetida até que a função de distribuição dos resíduos fosse idêntica a uma função de distribuição normal (*i.e.*, aceitou-se a hipótese nula do teste Kolmogorov–Smirnov ao nível 5% de significância; Figura 6). A análise dos resíduos studentizados de cada indivíduo foi realizada por meio do procedimento UNIVARIATE (*Statistical Analysis System* - SAS *Studio University Edition*, versão 3.6).

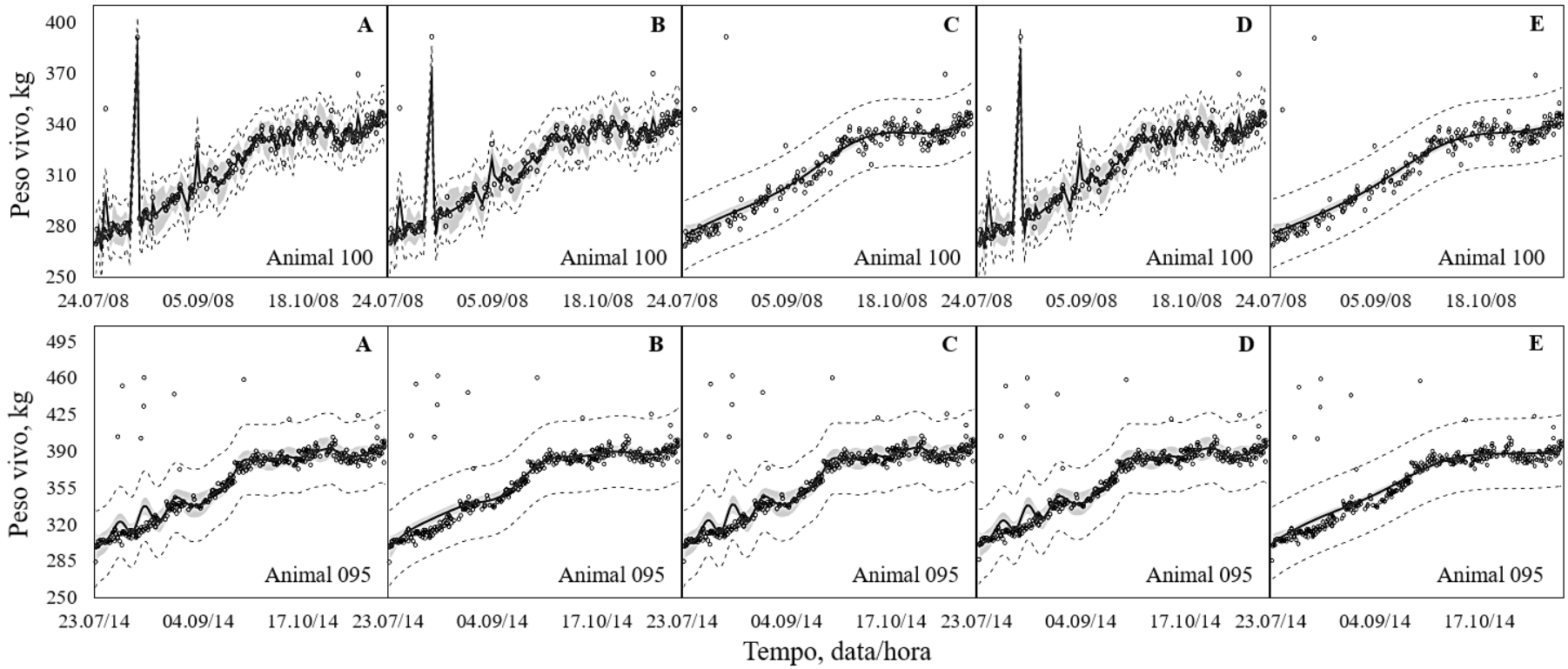

Figura 5 - Exemplos da alteração da suavização dos dados de dois animais em função do critério para a escolha do parâmetro de suavização. (A) Critério de Informação de Akaike; (B) Critério de Informação de Akaike Corrigido; (C) Critério da Validação Cruzada; (D) Critério da Validação Cruzada Generalizada; (E) Critério de Informação Bayesiano. Data/hora = dia e horário da pesagem.

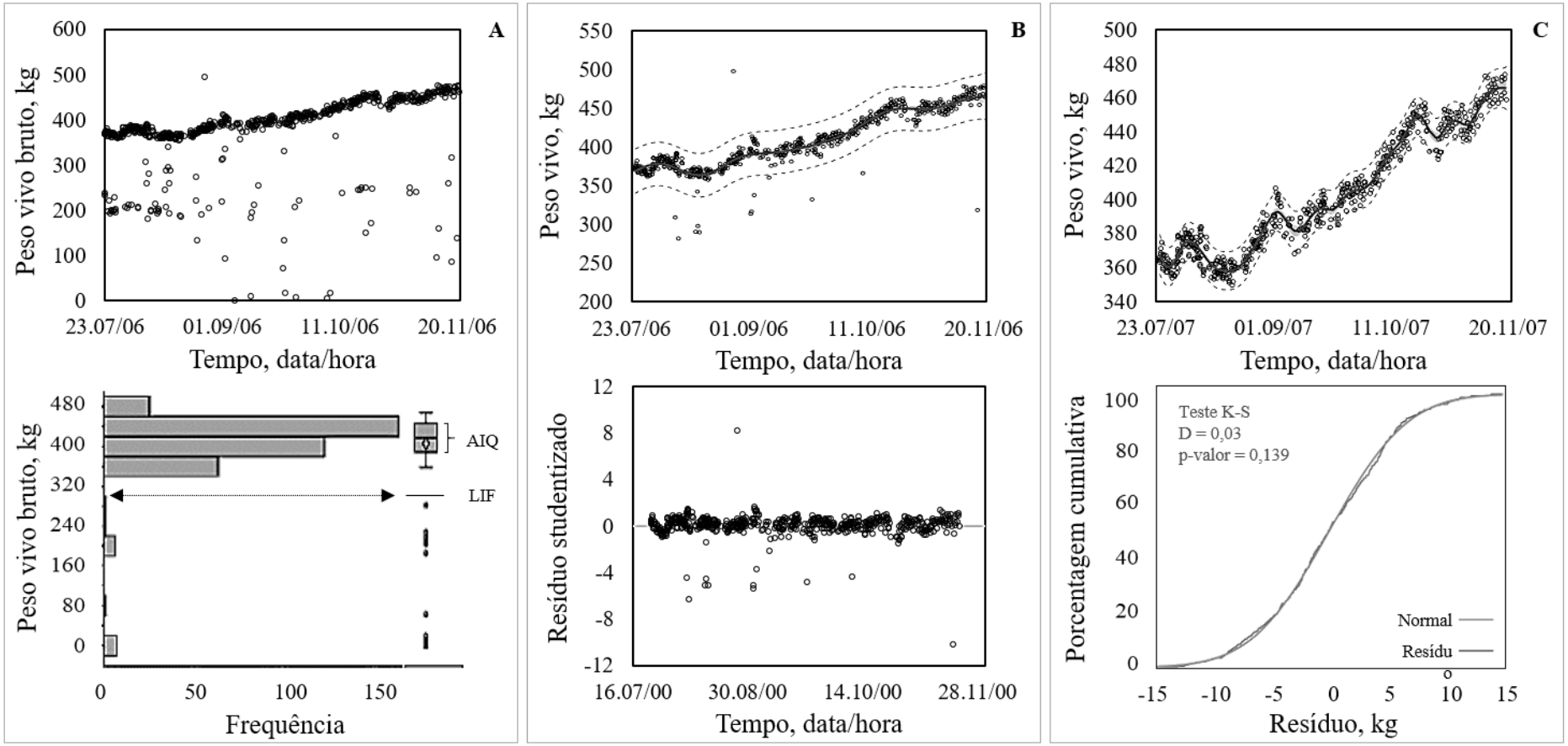

Figura 6 - Exemplo da metodologia utilizada no presente estudo para identificação e exclusão dos *outliers*. Os dados de peso vivo do animal 128 são representados pelos círculos (o). (A) Etapa I: peso vivo bruto acima da *Upper Inner Fence* (UIF) ou abaixo da *Lower Inner Fence* (LIF) foi considerado *outlier*. (B) Etapa II: suavização dos dados utilizando a técnica PB-splines, sendo posteriormente analisado a variação dos resíduos studentizados, excluindo aqueles maiores que 2,5 e menores que -2,5. (C) Resultado final do procedimento de remoção de dados atípicos. Data/hora = dia e horário da pesagem.

2.2.2. Análise geral e descritiva do peso vivo diário

A análise descritiva dos dados diários, antes e após o procedimento de remoção de dados atípicos, foi realizada por meio dos procedimentos MEANS e UNIVARIATE (Statistical Analysis System - SAS Studio University Edition, versão 3.6). O grau de associação entre o desvio padrão médio diário do peso vivo e o peso vivo médio dos animais foi mensurado com o procedimento CORR (Statistical Analysis System - SAS Studio University Edition, versão 3.6), sendo verificado inicialmente a normalidade das variáveis pelo teste de Shapiro-Wilk (SHAPIRO & WILK, 1965).

2.2.3. Análise da concordância entre os sistemas de pesagens

Para quantificar o grau de concordância entre o peso vivo obtido usando o sistema automático (*i.e.*, plataformas de pesagem corporal [modelo VW 1000, Intergado®, Brasil]) e o sistema convencional de pesagem (*i.e.*, transportar os animais ao curral de manejo provido de tronco de contenção adaptado com balança eletrônica [Balança ID 3000; Tru-test®, Nova Zelândia]), foi utilizado os dados coletados neste último sistema nos dias 31/08, 10/10 e 31/10/2016. Os animais foram pesados sem jejum no sistema convencional, sendo cada lote conduzido ao curral separadamente (*i.e.*, somente após o primeiro lote voltar a baia do confinamento, iniciava-se a condução do próximo lote para o curral). Manteve-se a ordem de pesagem de cada lote nas três repetições (Figura 7). Além disso, nenhuma alteração nos horários de fornecimento dos tratos foi realizada, bem como nas demais atividades programadas para estes três dias (*i.e.,* análise de ultrassonografia e mensuração de medidas biométricas dos animais, necessárias para atender os objetivos de outro projeto conduzido no mesmo período), visando manter a rotina de trabalho da fazenda e quantificar o grau de concordância nestas condições. Tais atividades implicaram em tempos de permanência no curral diferentes entre os lotes, sendo o lote III quem permaneceu por menor período (i.e., aproximadamente 2 horas; Figura 7). Dessa forma, a análise de concordância entre os sistemas de pesagem foi realizada considerando as variações entre e dentro de cada indivíduo, bem como as variações entre lotes.

Para a realização desta análise de concordância, utilizou-se a média dos dados individuais obtidos no sistema automático nos mesmos dias em que as pesagens convencionais foram realizadas, sendo estes valores denominados no presente estudo de peso vivo médio automático (PVMa, mensurado após a retirada dos *outliers*) e peso vivo convencional (PVc).

Utilizou-se o coeficiente de correlação de concordância (CCC) de Lin (1989) e seus componentes (*i.e.*, o fator de correção do viés [C_b] e o coeficiente de correlação de Pearson [r]) para a realização da análise de concordância. Foi considerado concordância perfeita valores do CCC maior que 0,99, substancial concordância para valores maiores que 0,95 e menores que 0,99, moderada concordância para valores entre 0,90 e 0,95 e baixa concordância para os coeficientes menores que 0,90 (McBRIDE, 2005). Os limites de concordância foram estimados de acordo com a metodologia proposta por Bland & Altman (2007), sendo, portanto, consideradas as variações entre indivíduos e dentro de cada indivíduo para a estimativa destes limites. Para verificar se a magnitude do viés (*i.e.*, diferença entre o peso vivo automático e o peso vivo convencional) se altera a medida que o peso vivo médio dos animais aumenta, foi realizada a análise do coeficiente angular da regressão entre o viés e a média entre o PVMa e o PVc, conforme proposto por Bland & Altman (1995), testando-se a hipótese deste coeficiente angular ser igual a zero pelo teste t de Student. Considerou-se o valor de $p<0,05$ para rejeitar-se a hipótese de nulidade. Estas análises de comparação entre métodos foram realizadas por meio do software MedCalc *Statistical* versão 18.5 (MedCalc *Software* bvba, Bélgica; http://www.medcalc.org; 2018).

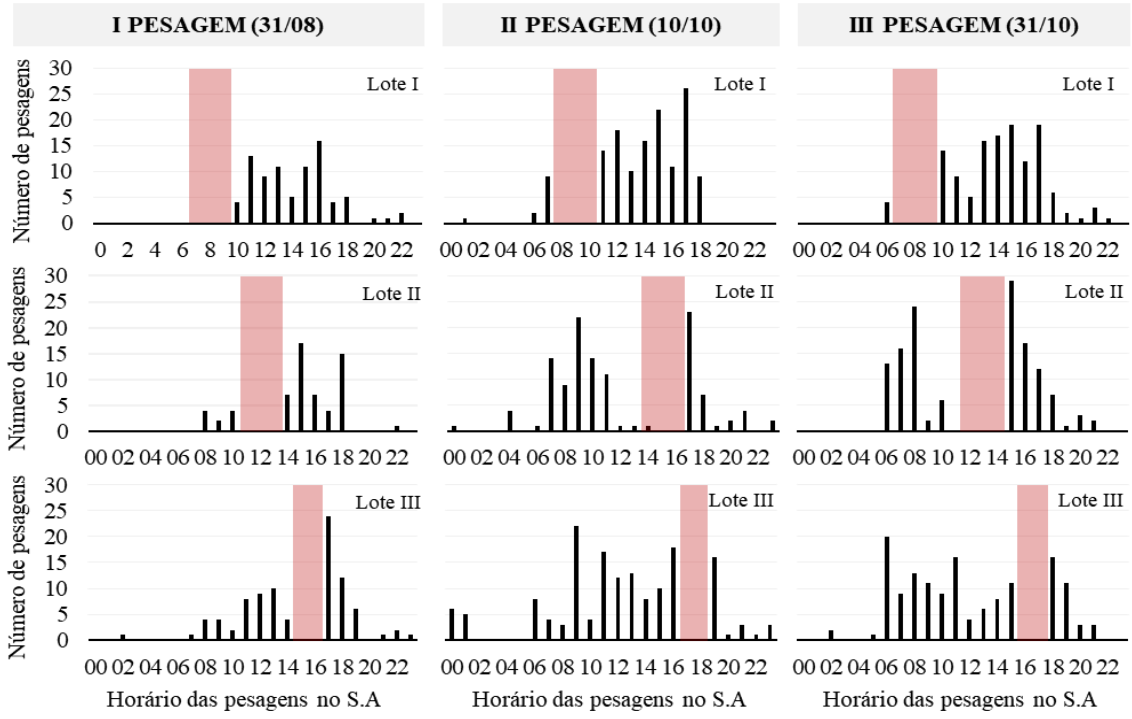

Figura 7 – Frequência de pesagens automáticas registrada nos dias em que as pesagens no sistema convencional foram realizadas. As barras vermelhas representam os horários em que os animais foram manejados no curral. S.A = Sistema automático.

2.2.4. Suavização dos dados de peso vivo e mensuração do ganho de peso

Para conhecer as variações do ganho de peso mensurados com o uso de sistemas automáticos de pesagem, foram analisados dois métodos de suavização: *i)* PB-splines (EILERS & MARX, 1996) e *ii)* LOWESS (*Locally-Weighted Scatterplot Smoother;* CLEVELAND et al., 1988). Para a realização da primeira técnica, foi ajustado o modelo PB-splines para cada indivíduo por meio do procedimento TRANSREG (*Statistical Analysis System* - SAS *Studio University Edition*, versão 3.6), conforme já descrito no item 2.2.1 deste material. Por outro lado, o ajuste nos dados individuais utilizando LOWESS foi realizado por meio do procedimento LOESS (*Statistical Analysis System* - SAS *Studio University Edition*, versão 3.6). Foi também considerando para este procedimento a variável de resposta como sendo o peso vivo registrado em cada pesagem e a variável preditora o tempo, ou seja, dia/horário das pesagens. Foi utilizado o critério de informação de Akaike corrigido para a escolha do parâmetro de suavização (*default* do procedimento LOESS para modelos com uma variável de resposta) e foi escolhido o polinômio local de segunda ordem para a estimativa das curvas, em função da presença de picos ou vales nos dados. Além disso, foram assumidas as premissas de normalidade e independência dos resíduos, bem como da homocedasticidade da variância dos resíduos. A acurácia e precisão das estimativas de ambas as técnicas de suavização foi analisada por meio do coeficiente de correlação de concordância de Lin (1989) e seus componentes, mensurados conforme já descrito no item 2.2.3 deste trabalho.

Para a mensuração do ganho de peso em escala diária, em ambas técnicas de suavização foram geradas as estimativas de peso vivo, interpolando os dias em que não houveram pesagens. A média destes valores diários estimados para cada indivíduo foi utilizada para a construção das trajetórias de ganho de peso diário {GPD, kg = ($PVMD_{EST(t)}$ - $PVMD_{EST(t-1)}$) / [t - (t-1)], onde $PVMD_{EST}$ = Peso Vivo Médio Diário Estimado, kg}. Foram consideradas apenas as médias obtidas a partir da segunda semana do estudo exploratório, em função dos primeiros sete dias não conter dados suficientes para o bom ajuste dos modelos. Por outro lado, o ganho de peso na escala dia/hora (*i.e.*, escala por pesagem) foi obtido pela derivada do peso vivo estimado a cada a dois tempos de pesagem {*i.e.*, Ganho de peso por pesagem, kg = ($PV_{EST(t)}$ - $PV_{EST(t-1)}$)/[t - (t-1)], onde PV_{EST} = Peso Vivo Estimado, kg}.

A variação das estimativas do ganho de peso em ambas as escalas foi analisada em termos de desvio padrão. Quanto ao lote, a análise gráfica das trajetórias do ganho de peso foi realizada por meio de cartas de controle de processos estatísticos, utilizando o *software* MedCalc Statistical versão 18.5 (MedCalc Software bvba, Bélgica; http://www.medcalc.org;

2018). Este procedimento foi adotado em função das cartas de controle possibilitarem visualizar os momentos em que a magnitude da variação se modificou no tempo. Como não se conhece, até o presente momento, a variação que é inerente ao ganho de peso quando mensurado em escala diária, os limites de controle foram mensurados com base nos dados de ganho de peso presentes no período até a inflexão da curva do peso vivo que antecedeu o primeiro valor negativo do ganho de peso. Vale ressaltar que as cartas de controle foram aqui utilizadas apenas como forma de visualização das alterações do ganho de peso, não sendo, portanto, recalculado os limites de controle, conforme realiza-se quando aplicadas em monitoramento de processos (MONTGOMERY, 2009).

3. RESULTADOS E DISCUSSÃO

3.1. Procedimento inicial: identificação e remoção de dados atípicos

Ao longo de 124 dias foram coletados 55.968 dados de peso vivo de 140 animais. Destes, 3.392 (6,06%) foram considerados *outliers* e excluídos do banco de dados para a realização das posteriores análises. O procedimento de remoção de dados atípicos diminuiu a amplitude total dos dados de 757,0 kg para 362,5 kg (mínimo de -5,5 kg e máximo de 751,5 kg antes da retirada dos *outliers*; mínimo de 234,5 kg e máximo de 597 kg depois da retirada dos *outliers*), alterando, consequentemente, o peso vivo médio e o desvio padrão dos dados coletados (*i.e.*, 380,8 kg ± 75,84 antes da retirada dos *outliers*; 388,0 kg ± 63,13 após a retirada dos *outliers*).

A presença de dados inconsistentes neste sistema de plataformas de pesagem corporal automática ocorreu, principalmente, por três razões: *i)* coleta de dados sem o animal estar com os quatro membros sobre a plataforma; *ii)* coleta de dados em que haviam mais de um animal na plataforma; *iii)* coleta de dados caracterizada pela leitura do brinco eletrônico sem que o animal esteja na plataforma, em função de sua proximidade com a antena leitora RFID. De acordo com a metodologia utilizada no presente estudo, 80,4% dos dados excluídos estavam localizados abaixo do peso vivo considerado consistente (*i.e.*, localizados abaixo das *lower fences* na primeira etapa e abaixo de - 2,5 de resíduo studentizado na segunda etapa do procedimento de remoção de dados atípicos; Figura 6), enquanto apenas 19,6% se encontravam acima deste valor (Figura 8). Estes resultados indicam que, dentre as três razões supracitadas, a presença de mais de um animal na plataforma foi a que menos contribuiu para a coleta de dados errôneos neste sistema de pesagem.

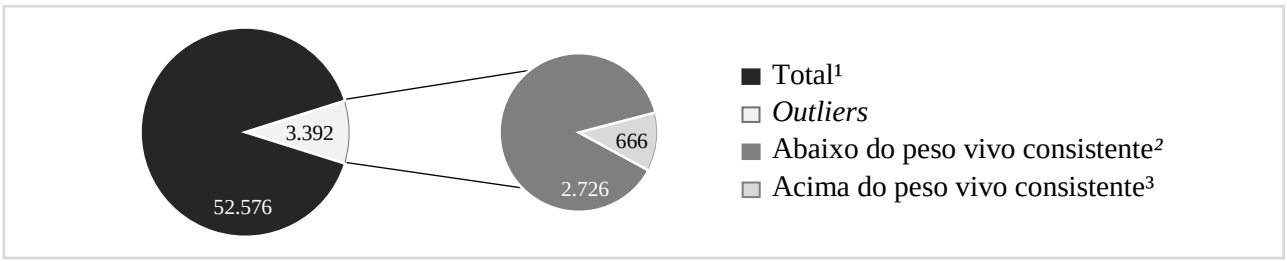

Figura 8 - Dados coletados ao longo do período do estudo exploratório e descrição numérica dos *outliers* de acordo com o procedimento de remoção de dados atípicos descrito no item 2.2.1. ¹Total de dados para análises; ²67,9% excluídos na etapa I e 32,1% na etapa II; ³18,9% excluídos na etapa I e 81,1% na etapa II.

De maneira geral, as principais dificuldades existentes nos processos de identificação e remoção de *outliers* são: *i*) definir o quão distante um dado deve estar do outro para caracterizá-lo como *outlier; ii)* identificar dados que estão próximos dos dados reais, mas são *outliers* e *iii*) encontrar um algoritmo que seja eficiente nas suas condições (HAN et al., 2011). Superar estas limitações utilizando sistemas de pesagem automática instalados à frente do bebedouro dentro da baia do confinamento requer o conhecimento das flutuações naturais que ocorrem com o peso vivo ao longo do dia, além de conhecer o posicionamento do animal na balança a cada registro de dados. Em função de não ser possível, até o presente momento, conhecer a confiabilidade do dado no momento em que ele é coletado, optou-se no presente estudo por utilizar um procedimento de identificação e remoção de dados atípicos que permitisse confiáveis ajustes dos modelos aqui explorados (*i.e.*, respeitar as premissas de normalidade e homocedasticidade da variância dos resíduos).

Outros procedimentos podem ser encontrados em Alawneh et al. (2011) e Menzies et al. (2018). É importante ressaltar que as metodologias por eles sugeridas também foram testadas no presente estudo, mas não foram adotadas por não terem apresentado resultados satisfatórios, isto é: *i)* a metodologia de médias móveis proposta por Menzies et al. (2018) excluiu 30,9% dos dados coletados (vs. 6,0% quando comparada a metodologia utilizada no presente estudo), além de manter dados inconsistentes (Figura 9); *ii)* a metodologia proposta por Alawneh et al. (2011) não foi aplicável na presença de valores extremos (dados localizados fora das *outer fence*s no diagrama de caixa) encontrados no presente banco de dados. Estes *outliers* alteraram de forma drástica a curva suavizada utilizando o critério da validação cruzada generalizada, impedindo, com isso, a retirada destes dados baseando-se no intervalo da predição de 95%, conforme sugerido pelos autores (Figura 10).

Assim, os procedimentos a serem adotados para a realização das etapas de identificação e remoção de dados de peso vivo diário atípicos dependem da frequência e localização destes dados coletados de cada indivíduo. Estas características estão, por sua vez, relacionadas, principalmente, a estrutura dos sistemas de pesagem. A padronização destas estruturas, impedindo que leituras do brinco eletrônico sejam realizadas sem que o animal esteja por completo ou fora da plataforma, facilitaria o processamento inicial dos dados. Além disso, a diminuição da coleta de dados inconsistentes poderia também ser alcançada com o desenvolvimento de plataformas de pesagem que possuíssem ajustes em seu comprimento, permitindo, assim, melhores adequações à animais com diferentes tamanhos corporais.

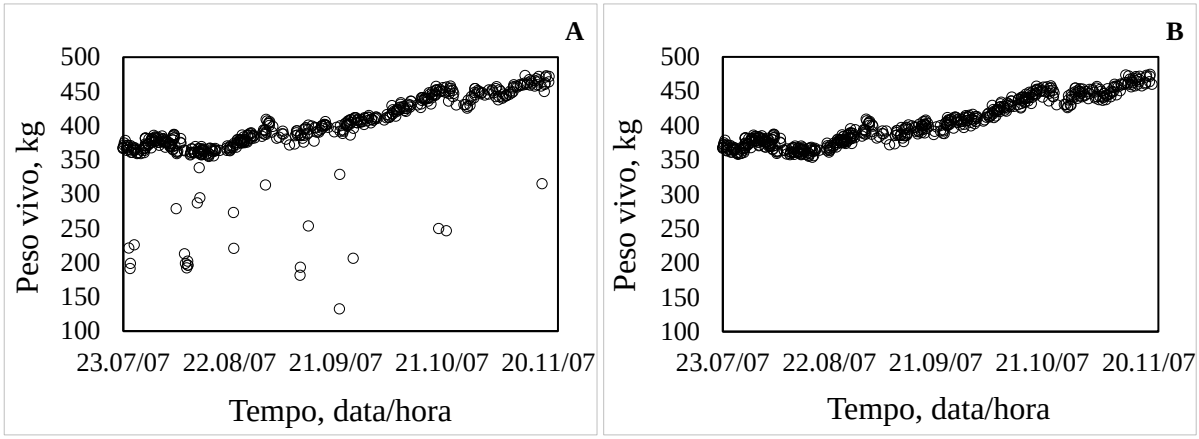

Figura 9 - Exemplo do resultado obtido com o procedimento de identificação e remoção dos *outliers* utilizando a metodologia proposta por (A) Menzies et al. (2018) e (B) a metodologia utilizada no presente estudo. Nota: Dados do animal 128 foi utilizado para esta exemplificação.

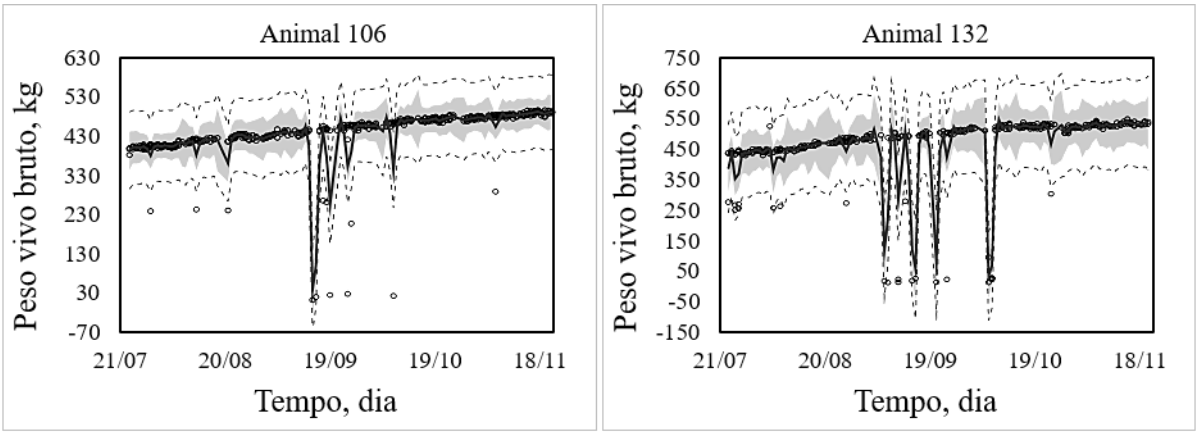

Figura 10 - Exemplos da suavização dos dados brutos de dois animais do presente estudo, utilizando a metodologia proposta por Alawneh et al. (2011). Os valores extremos alteraram a suavização das curvas, impossibilitando, com isso, a classificação dos *outliers* conforme proposto por estes autores [*i.e.*, potenciais *outliers* (peso vivo localizado acima ou abaixo do intervalo da predição de 95%, representado pelas linhas tracejadas); *outliers* biologicamente implausíveis (peso vivo que variou mais de 4 desvios padrões acima ou abaixo do peso vivo estimado pelo modelo)].

3.2. Análise geral e descritiva do peso vivo diário

No presente estudo, o desvio padrão diário do peso vivo foi em média 3,64 kg, com valores mínimo e máximo de 0 e 14,85 kg, respectivamente (Figura 11). Estes resultados estiveram associados com o peso vivo médio dos animais, uma vez que houve correlação forte

e positiva ($p < 0,001$) entre o peso vivo médio e o desvio padrão médio diário do peso vivo ($r = 0,75$). No entanto, quando este desvio padrão médio diário do peso vivo foi corrigido para o peso vivo médio de cada animal, não houve correlação entre estas variáveis ($r = 0,03$; $p = 0,7075$). Estes resultados indicam que para cada unidade de peso vivo (kg) a variação do conteúdo do trato gastrointestinal ao longo do dia foi a mesma, porém, animais mais pesados apresentam, consequentemente, variação total maior. Sabe-se que o peso vivo apresenta relação diretamente proporcional com o consumo de matéria seca em animais que não atingiram o ponto de inflexão da trajetória do peso vivo. Ademais, o consumo de matéria seca é o principal fator determinante da ingestão de água, além de influenciar também a taxa de passagem dos alimentos pelo trato digestivo dos animais (NRC, 2016). Este conjunto de fatores pode ter ocasionado esta forte correlação positiva entre o peso vivo médio e a flutuação diária do peso vivo dos animais.

A frequência média diária de visitas efetivas ao bebedouro (*i.e.*, número de visitas, excluindo aquelas em que os dados foram classificados como *outliers*) foi de 3,3 ± 1,69 visitas/animal/dia, com valores mínimo e máximo de 0 e 16 visitas/animal/dia, respectivamente. Assim, durante os 124 dias de coleta de dados, os animais frequentaram, em média, 376 ± 92,4 vezes os bebedouros. Além disso, ao longo do dia, as maiores frequências de visitas efetivas ocorreram próximas aos horários do fornecimento dos tratos (Figura 12), resultado este que exemplifica os efeitos da ingestão de matéria seca sobre a ingestão de água dos animais. Sabe-se que a procura pela água é resultante, principalmente, da temperatura corporal, a qual é caracterizada pela relação entre o incremento calórico e a radiação solar com os meios evaporativos e não-evaporativos (BROSH et al., 1998). Assim, estes fatores podem explicar a distribuição das frequências de visitas efetivas aos bebedouros encontrada no presente estudo.

Não houve registro do peso vivo dos animais todas as vezes em que eles frequentaram os bebedouros, principalmente em função de falhas nos brincos de identificação eletrônica (*i.e.*, 10,7% dos brincos precisaram ser trocados) e falhas no fornecimento de energia para o funcionamento do sistema no período de 24h [*i.e.*, seis dias do estudo exploratório tiveram, em média, dados registrados de apenas 33 animais (23,8%), sendo verificado que em parte destes dias os equipamentos estavam desligados]. Dessa forma, adequações do fornecimento de energia via sistemas solares precisam ainda serem realizadas, visando otimizar o uso destes sistemas automáticos de pesagem.

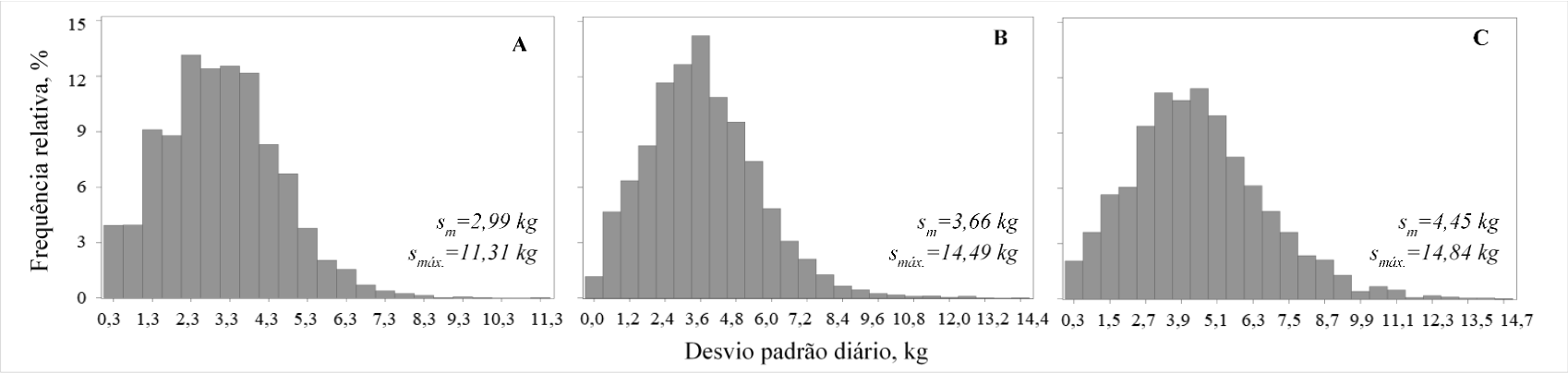

Figura 11 - Histograma do desvio padrão diário do peso vivo de bovinos Nelore confinados em baias equipadas com o sistema de plataforma de pesagem corporal automática. (A) Novilhas; (B) Tourinhos com peso vivo médio de 379,7 ± 49,88 kg; (C) Tourinhos peso vivo médio de 453,0 ± 52,70 kg.

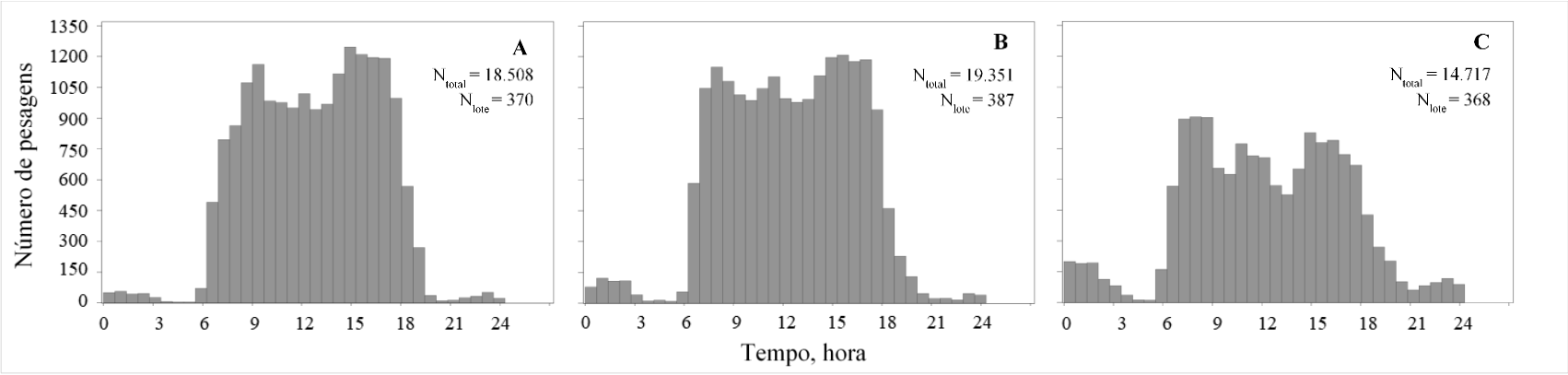

Figura 12 - Frequência de pesagens ao longo do dia durante os 124 dias do período do estudo exploratório. (A) Novilhas; (B) Tourinhos com peso vivo médio de 379,7 ± 49,88 kg; (C) Tourinhos peso vivo médio de 453,0 ± 52,70 kg. (N_{lote}) Número de pesagens/número de animais por lote. Os horários de fornecimento dos tratos foram, aproximadamente, 8h00, 11h00 e as 16h30.

3.3. Sistema automático versus sistema convencional de pesagem

A figura 13 mostra o grau e o limite de concordância entre o peso vivo obtido por meio do sistema de plataforma de pesagem corporal automática (peso vivo médio automático) e o obtido por meio do sistema convencional de pesagem (peso vivo convencional). O coeficiente de correlação de concordância variou de 0,957 a 0,987, existindo, por tanto, substancial concordância entre os diferentes métodos de pesagem (Tabela 2). Este resultado se encontra dentro do intervalo de 0,91 a 0,99 apresentado por autores que quantificaram o grau de concordância entre o sistema automático e o convencional de pesagem em vacas leiteiras, utilizando balanças de passagem instaladas na saída da sala de ordenha (ALAWNEH et al., 2011; DICKINSON et al., 2013). O viés médio (média da diferença entre o peso vivo médio automático e o peso vivo convencional) foi de 3,5 ± 9,18 kg. Dessa forma, os limites de concordância obtidos foram de -14,5 (intervalo de confiança de 95% de -16,1 a -13,1) e 21,5 kg (intervalo de confiança de 95% de 19,6 a 22,7 kg). Menores limites de concordância e viés médio poderiam ser obtidos com manejos de pesagem realizados com menor tempo de permanência dos animais no curral.

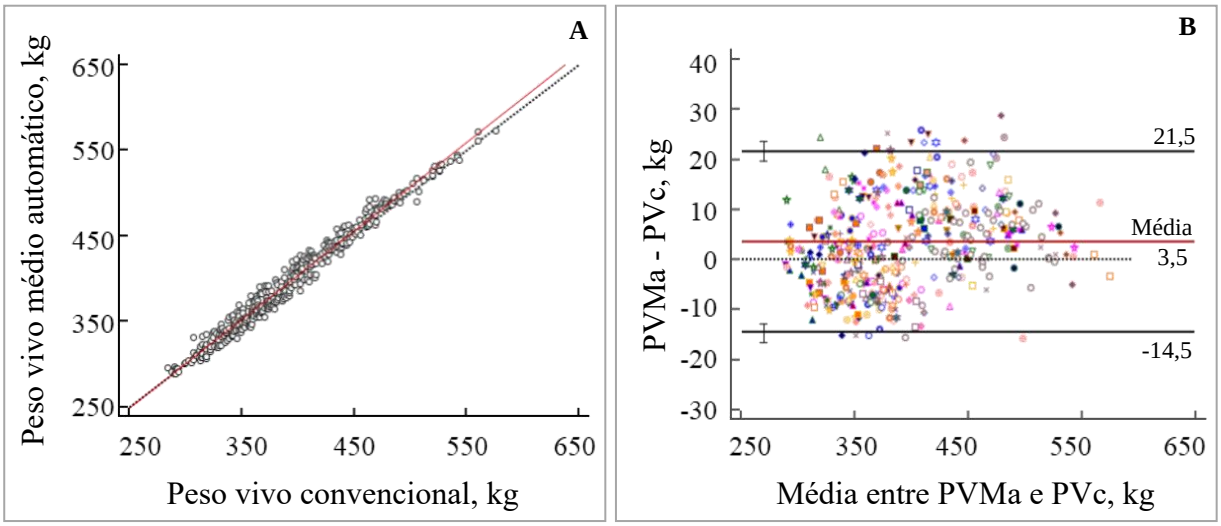

Figura 13 - Peso vivo médio automático (PVMa) versus peso vivo convencional (PVc) mensurados em 140 bovinos Nelore. (A) A linha preta pontilhada indica a linha de perfeita concordância (inclinação igual a 1). (B) Limites de concordância entre os pesos vivos mensurados nos dois diferentes sistemas. Cada símbolo com o mesmo formato e cor representa um animal e suas repetições. A distância entre a linha preta pontilhada e a linha vermelha representa o viés médio, sendo as linhas pretas os limites inferior e superior de concordância.

Nas regressões do viés (PVMa - PVc) versus a média entre o PVMa e PVc, foram evidenciados vieses lineares (coeficientes angulares diferentes de 0, P<0,0001), exceto para o lote III (Tabela 2). Desse modo, constatou-se que o viés pode se alterar (*i.e.*, apresentar comportamento linear crescente ou decrescente) quanto maior for peso vivo médio dos animais. A interpretação destes resultados precisa ser feita com cautela, uma vez que nestes sistemas de pesagem o viés é multifatorial. O tempo da última alimentação antes da realização das pesagens, bem como o tempo de permanência dos animais no curral também são fatores associativos e que explicam os resultados dos vieses lineares encontrados no presente estudo.

Conforme pode-se verificar na Tabela 2, as novilhas apresentaram em média valores negativos da diferença entre o PVMa e o PVc, apresentando ainda viés linear decrescente a medida que a média entre o PVMa e PVc aumentou. Este resultado foi obtido em função das pesagens convencionais para este grupo terem sido realizadas cerca de quarenta minutos após o fornecimento do primeiro trato. Por outro lado, o lote III foi o grupo que permaneceu por menor tempo no curral, sendo as pesagens no sistema convencional realizadas entre as 15 e 18h, ou seja, antes do fornecimento do último trato e após 4 horas, em média, do fornecimento do segundo trato (Figura 7). Estes fatores, somado a aleatoriedade das pesagens no sistema automático, podem ter proporcionado este resultado de viés linear constante para este grupo (coeficiente angular = 0,01; P-valor = 0,2317).

Em relação a acurácia na determinação do peso vivo, os primeiros estudos que analisaram metodologias de pesagem para bovinos sugeriram que pesar os animais mais de uma vez no dia ou pesá-los em sucessivos dias proporcionaria o aumento da acurácia (LUSH & BLACK, 1927; LUSH et al., 1928; KOCK et al., 1958). No entanto, acurácia é a análise que mensura o quão próximo o valor determinado está do valor considerado verdadeiro. Assim, a metodologia de pesagem mais acurada para estimar a quantidade de energia retida no ganho de peso seria aquela que proporcionaria valores mais próximos ao peso do corpo vazio (OWENS et al., 1995). Logo, o aumento do número de pesagens por si só não possibilita extrair informações em relação a acurácia e precisão das metodologias de pesagem.

A principal diferença entre estas metodologias de pesagem está, portanto, na extensão dos intervalos entre as mensurações. É característica inerente do sistema convencional longos intervalos entre cada pesagem, sendo estas tipicamente realizadas a cada 28 dias ou intervalos ainda maiores. Este longo intervalo resulta na ausência de informações que poderiam ser utilizadas para a detecção de problemas em estágio inicial, de modo a evitar declínio acentuado no desempenho dos animais (Figura 14).

Tabela 2 - Comparação entre o método convencional e o automático de pesagem de bovinos Nelore confinados em baias coletivas equipadas com o sistema de plataforma de pesagem automático.

Item	N[2]	X (kg)	Y (kg)	Diferença entre métodos		CCC e seus componentes			Limites de concordância		Parâmetros da regressão[1]	
				Viés médio (kg)	Desvio Padrão (kg)	Acurácia[3] (C_b)	Precisão[4] (r)	CCC[5] (r x C_b)	Limite Inferior (kg)	Limite Superior (kg)	Viés linear[6]	P-valor[7]
Todos os lotes												
Convencional[8]	408	391,9										
Sistema automático[9]			396,5	3,5	9,18	0,998	0,989	0,987	-14,5	21,5	0,04	<0,0001
Lote I - Novilhas												
Convencional[8]	148	350,7										
Sistema automático[9]			347,2	-3,6	5,66	0,989	0,984	0,974	-14,6	7,5	-0,07	<0,0001
Lote II - Touros com idade de 11 a 16 meses												
Convencional[8]	140	381,0										
Sistema automático[9]			393,3	10,2	8,83	0,974	0,983	0,957	-7,1	27,5	0,07	<0,0001
Lote III - Touros com idade de 18 a 25 meses												
Convencional[8]	120	456,8										
Sistema automático[9]			460,9	4,0	6,58	0,996	0,991	0,987	-8,9	16,9	0,01	0,2317

[1]Regressão entre o viés e a média entre o PVMa e PVc, sendo o viés = Peso vivo médio automático - Peso vivo convencional; [2]Número de dados obtidos para a realização da análise de comparação dos métodos de pesagem; [3]Fator de correção do viés; [4]Coeficiente de correlação de Pearson; [5]Coeficiente de correlação de concordância de acordo com Lin (1989); [6]Coeficiente angular da regressão entre o viés e o peso vivo convencional; [7]P-valor do teste de hipótese de o coeficiente angular ser igual a 0. Rejeitou-se a hipótese de nulidade para p<0,05 pelo teste t de Student; [8]Os animais foram pesados no sistema convencional nos dias 31/08, 10/10 e 31/10/2016; [9]Utilizou-se a média dos dados diários de cada indivíduo, registrados nos mesmos dias em que as pesagens convencionais foram realizadas.

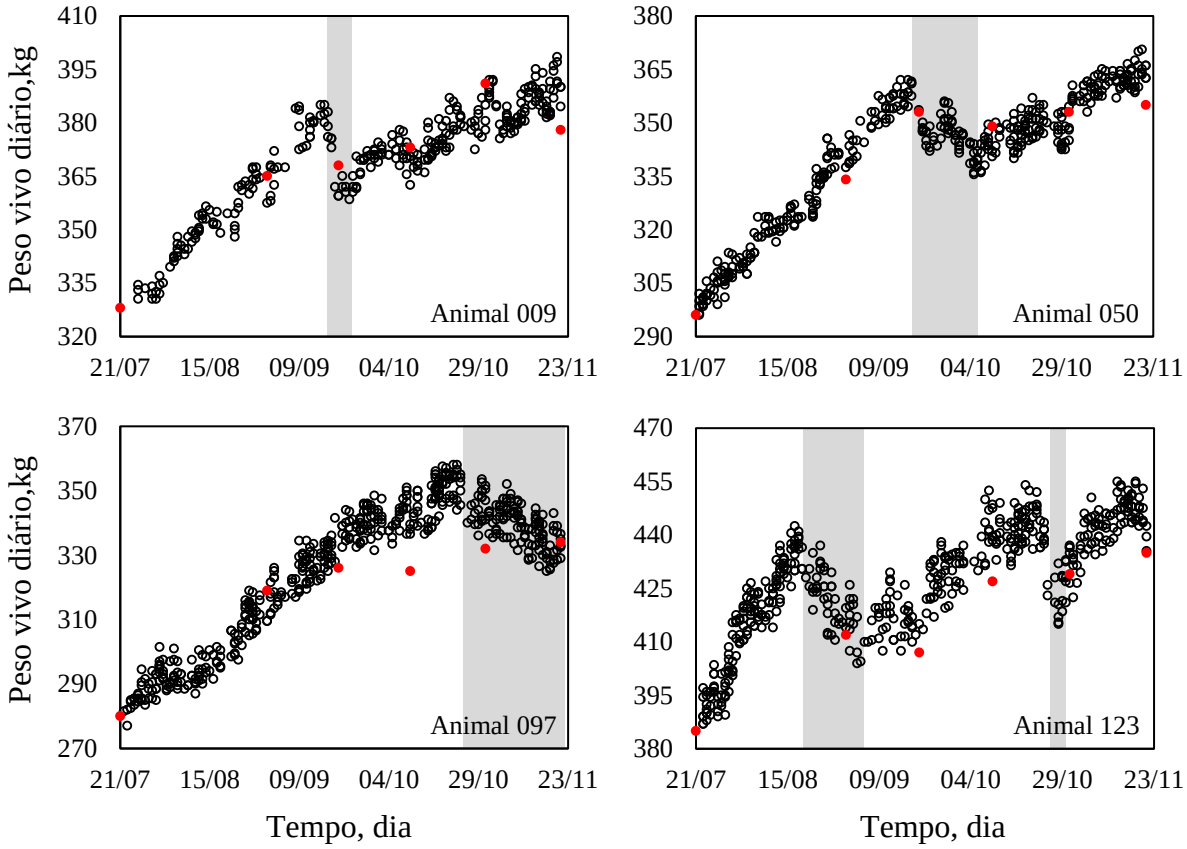

Figura 14 - Trajetória do peso vivo de quatro animais obtida ao longo dos 124 dias do período do estudo exploratório. Os pontos vermelhos representam as pesagens no sistema convencional e os círculos pretos as pesagens no sistema automático. As barras cinzas verticais indicam a ocorrência de possíveis problemas que alteraram a taxa de ganho de peso dos animais.

3.4. Suavização dos dados de peso vivo e variação do ganho de peso

Monitorar o desempenho dos animais visando identificar de forma precoce causas de variação que implicam em mudanças no processo de produção por meio de medidas corretivas, exige inicialmente o conhecimento das variáveis a serem controladas em termos de variação (MONTGOMERY, 2009; DE VRIES & RENEAU, 2010). Neste contexto, duas técnicas de suavização de dados foram analisadas (*i.e.*, PB-splines e LOWESS), visando estimar a forma estrutural entre o peso vivo e o tempo sem o estabelecimento prévio de uma função. Esta característica dos modelos não paramétricos permite que os dados de cada lote ou indivíduo "falem por si próprios" e que sua variação seja estimada de modo a minimizar erros provenientes de análises que estabelecem previamente uma função (Figura 4).

Conforme pode-se verificar na Figura 15, ambas as técnicas de suavização apresentaram bons ajustes dos dados de peso vivo. O grau de concordância entre o peso vivo

estimado por elas e o peso vivo obtido no sistema automático de pesagem foi perfeito (*i.e.*, coeficiente de correlação de concordância maior que 0,99), além dos resíduos terem sido aleatoriamente distribuídos no primeiro e quarto quadrante, não sendo evidenciado alteração de sua variação para os diferentes valores ajustados (*i.e.*, o coeficiente angular da regressão dos resíduos versus os valores ajustados não foi significativamente diferente de zero; P > 0,05). No entanto, em relação ao grau de suavização das curvas estimadas, LOWESS foi a técnica que apresentou menor suavização, a qual resultou, por sua vez, em trajetórias de ganho de peso com maior variabilidade (Figuras 16 e 17).

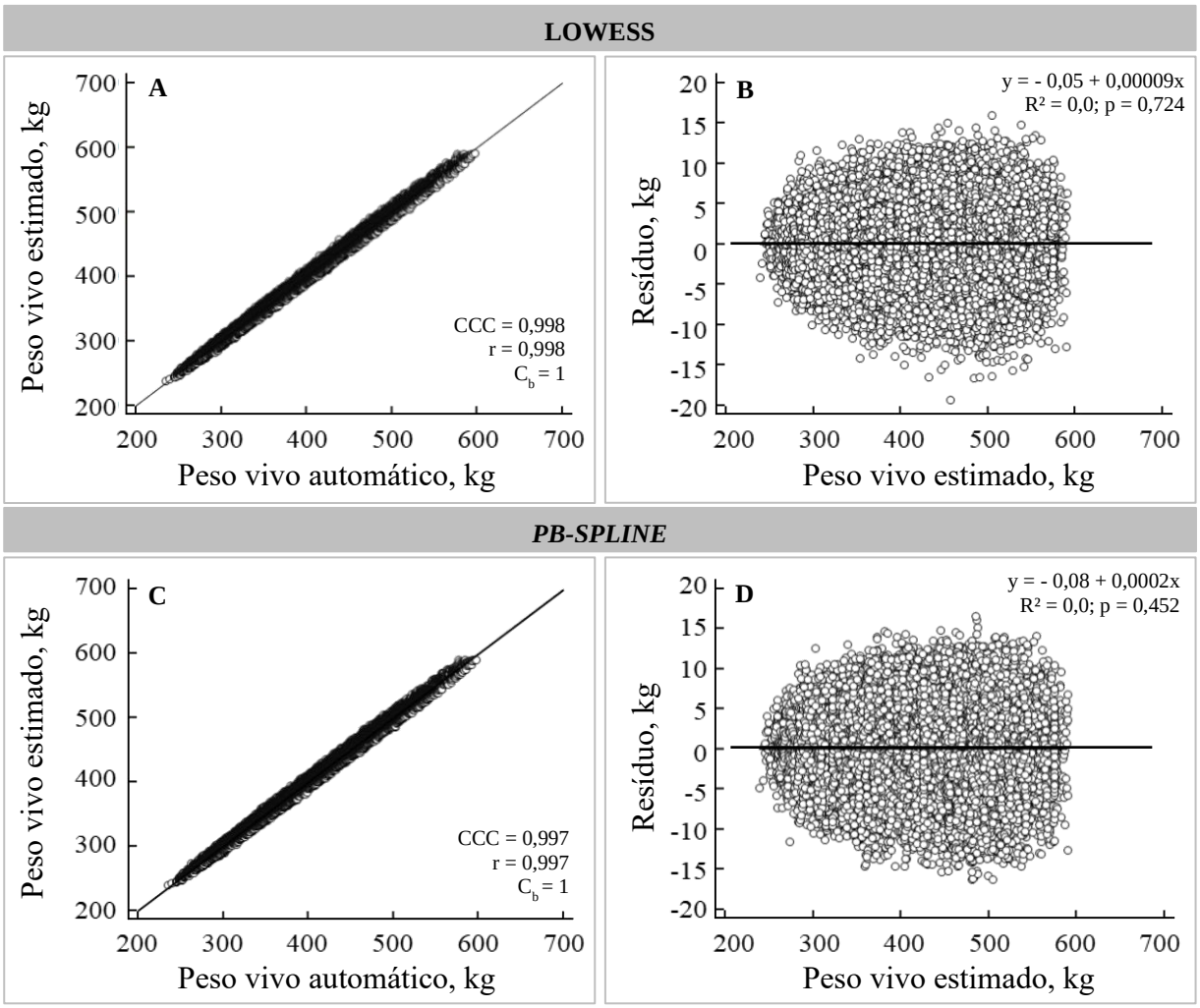

Figura 15 - Avaliação de diferentes técnicas de suavização para ajuste dos dados de peso vivo obtidos em sistemas automáticos de pesagem. (A e C) Peso vivo estimado versus peso vivo automático. A linha preta indica a linha de perfeita concordância (inclinação igual a 1). (B e D) Gráficos dos resíduos versus os valores ajustados.

Esta diferença no grau de suavização entre LOWESS e a técnica PB-spline pode estar associada ao critério utilizado, em cada uma destas técnicas, para a escolha do parâmetro de

suavização. Este parâmetro possui efeito determinante na variabilidade e no viés da estimativa. Se ele for numericamente pequeno, a estimativa terá um menor viés, mas a variabilidade será maior. Em outras palavras, nesta situação, a estimativa tende a interpolar os dados observados. Por outro lado, se o parâmetro de suavização for numericamente grande, a estimativa terá maior viés, mas uma menor variabilidade (EILERS & MARX, 1996; FAN & GIJBELS, 1996). Dessa forma, a possibilidade de utilizar o critério de informação bayesiano para a escolha deste parâmetro na PB-spline fez com que esta técnica gerasse os ajustes dos dados de peso vivo mais suavizados.

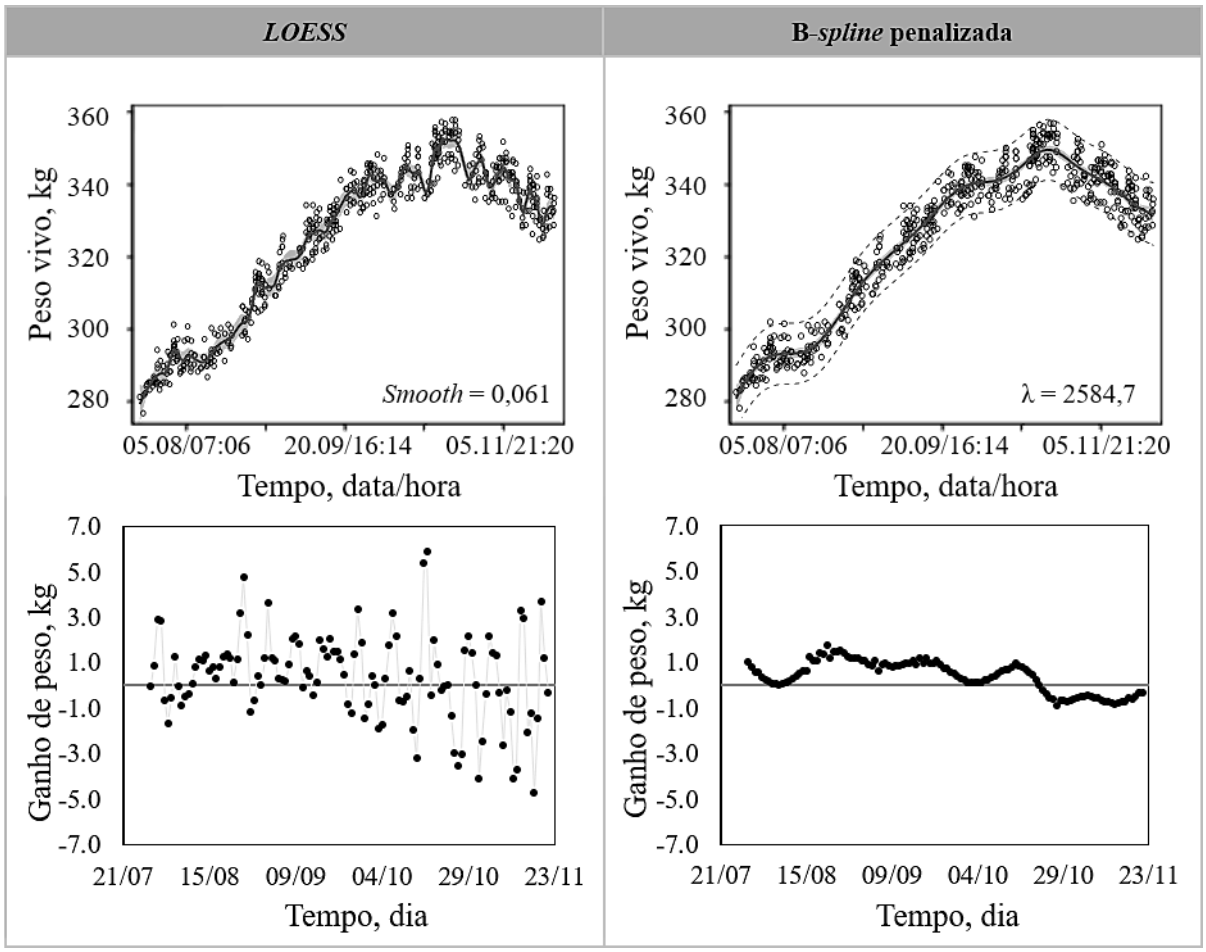

Figura 16 - Exemplo gráfico das diferenças no ajuste dos dados de peso vivo usando as diferentes técnicas de suavização analisadas no presente estudo e seu efeito na trajetória do ganho de peso diário (*Smooth* e λ = parâmetro de suavização). Data/hora = dia e horário da pesagem.

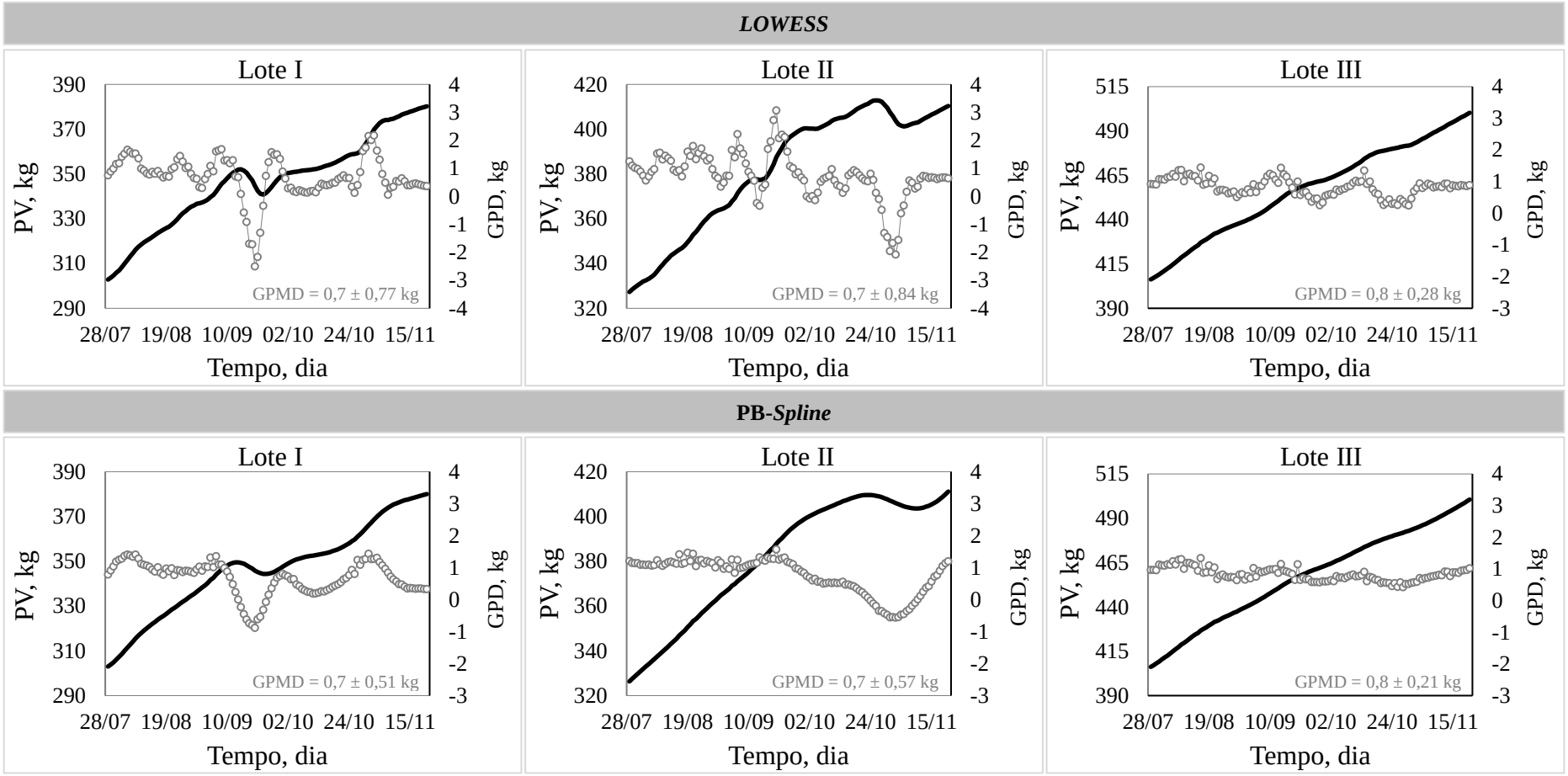

Figura 17 - Trajetórias do peso vivo (PV) e ganho de peso diário (GPD) dos três lotes do presente estudo e suas altercações ao utilizar diferentes técnicas de suavização. A linha contínua preta representa a curva ajustada nos dados de peso vivo do lote e os pontos (o) representam o ganho de peso diário. GPMD = ganho de peso médio diário.

Segundo Cleveland & Loader (1996), a escolha do grau de suavização deve ser fundamentada na produção de curvas mais suáveis possíveis sem distorcer a relação de dependência entre as variáveis em análise. No entanto, para Hardle (1990), esta escolha precisa estar relacionada com a interpretação e o efeito que a suavização terá na análise a ser conduzida. Neste sentido, visando exemplificar o efeito que a suavização pode apresentar na análise de identificação de possíveis problemas, o ganho de peso do lote mensurado com as duas técnicas de suavização foi analisado em termos de variação no período representado pelos sombreamentos cinzas da Figura 18 (critério para escolha deste período especificado no item 2.2.4 deste material). Esta variação, bem como todas as estimativas do ganho de peso diário, foi plotada no formado de cartas de controle de processos estatísticos, uma vez que este procedimento permitiu visualizar as mudanças na magnitude da variação no tempo.

Conforme pode-se verificar no lote das novilhas, utilizando LOWESS, o ganho de peso médio do dia 16/09 ultrapassou o limite inferior de controle (LIC), representado pelo ganho de peso médio igual a zero. Este primeiro ponto fora do LIC foi alcançado sete dias após a inflexão do ganho de peso em 08/09. De acordo com a teoria de cartas de controle, se um ou mais pontos estiverem fora dos limites de controle há evidência de que causas especiais de variação estão atuando sobre o processo. Neste momento, os animais e o manejo com os mesmos precisariam ser investigados para que ações corretivas pudessem ser aplicadas, de modo a detectar e eliminar estas causas de variação (MONTGOMERY, 2009). Analisando os dados deste mesmo lote, mas agora com a técnica PB-spline, o primeiro ponto fora do LIC foi gerado no dia 13/09 (*i.e.*, três dias antes quando comparado a LOWESS) sem ainda ter atingido valores negativos.

Esta diferença do grau de suavização nas variações do ganho de peso pôde ser verificada também no lote II. Este lote apresentou três períodos em que o ganho de peso atingiu valores negativos utilizando LOWESS (*i.e.*, 13 a 14/09, 01 a 04/10 e 27/10 a 05/11) contra apenas um período na PB-spline (i.e., 24/10 a 09/11). Estas mudanças diárias precisam ser analisadas com cautela, principalmente pelo fato das alterações no ganho de peso serem a soma de dois principais fatores, que não necessariamente ocorrem ao mesmo tempo, sendo eles: *i)* mudança no conteúdo do trato gastrointestinal e *ii)* mobilização ou deposição de reservas corporais (MALTZ et al., 1997). Assim, a curta duração e rápida recuperação do ganho de peso nos dois primeiros períodos em que LOWESS chegou a atingir valores negativos são indicativos de problemas que possivelmente acarretaram apenas em mudanças no conteúdo do trato gastrointestinal.

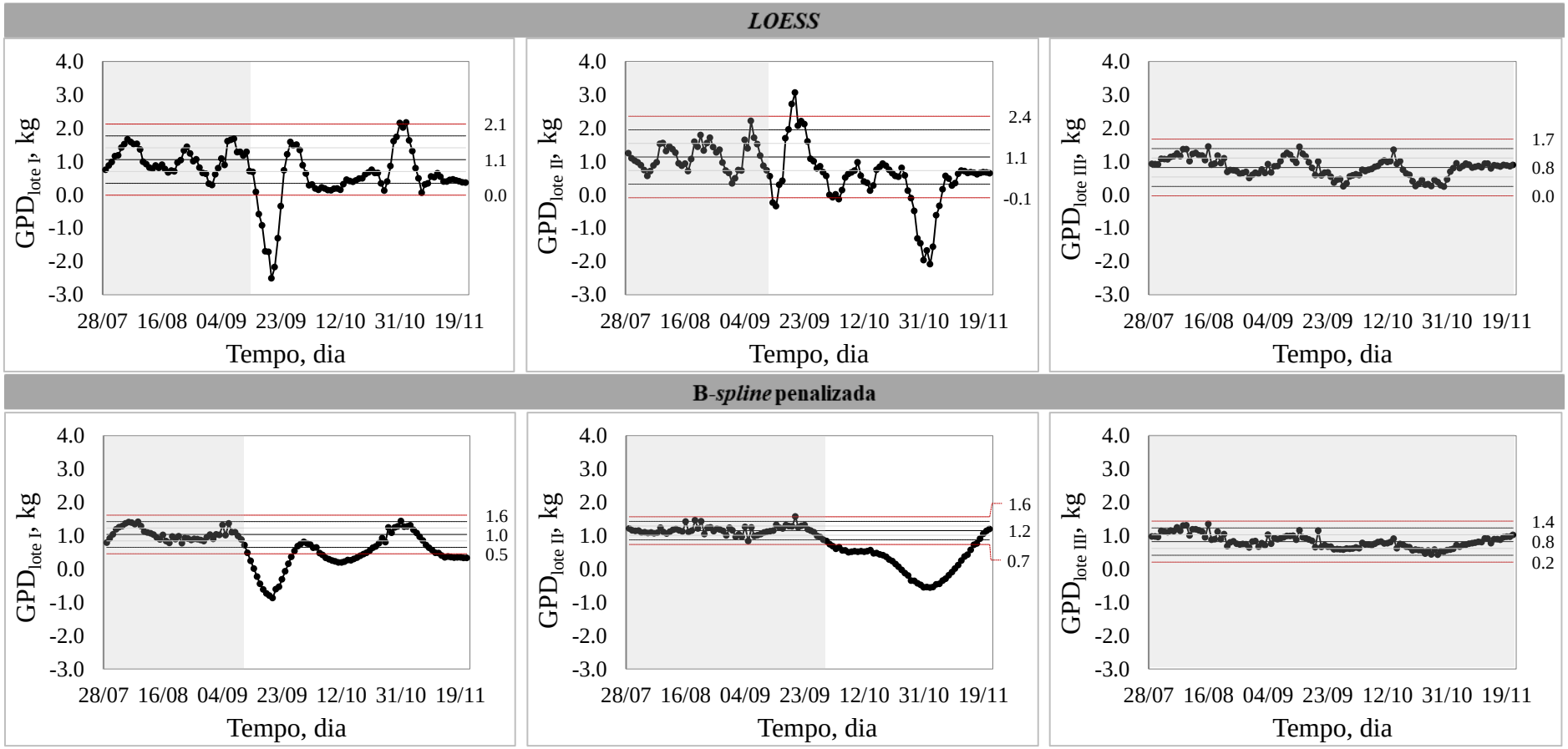

Figura 18 - Variação do ganho de peso diário (GPD) de bovinos Nelore confinados em baias equipadas com o sistema de plataforma de pesagem corporal automática. Lote I = 50 novilhas; Lote II = 50 tourinhos com idade de 11 a 16 meses; Lote III = 40 tourinhos com idade de 18 a 25 meses. A linha preta no centro do gráfico do GPD representa a média do ganho de peso diário (limite central) de cada lote e as demais linhas representam o valor do ganho de peso diário localizado a 1 (linha cinza), 2 (linha preta tracejada) e 3 (linha vermelha tracejada; limite superior) desvios padrões da média do lote. Os limites foram mensurados com os dados de GPD presentes na barra cinza de cada lote.

A nível de indivíduo, as variações do peso vivo podem ser mensuradas tanto em escala diária quanto na escala por pesagem, conforme sugerido por Aldridge et al. (2016). Estes autores analisaram o uso de sistemas automáticos de pesagem para detectar a data de parição de vacas prenhes. Segundo eles, utilizar a média dos dados diários de peso vivo reduz a precisão que poderia ser alcançada ao utilizar todos os dados. Em exemplo apresentado em seu estudo, uma vaca que registrou cinco pesagens no dia e pariu entre a quarta e quinta pesagem poderia ter a mudança do peso vivo, em decorrência da parição, mascarada pelas flutuações naturais caso a média fosse utilizada. Vale ressaltar que estes autores conseguiram prever, por meio da análise gráfica das curvas ajustadas utilizando LOWESS, a data de parição de 59% dos animais analisados, mesmo trabalhando com todos os dados. As limitações estiveram relacionadas, principalmente, a alta variabilidade dos dados coletados (ALDRIDGE et al., 2016).

No presente estudo, o desvio padrão médio dos dados de ganho de peso diário individuais mensurados com o auxílio de LOWESS foi 58,4% maior daquele mensurado com os dados da técnica PB-spline (*i.e.*, 1,42 kg para LOWESS e 0,90 kg para a PB-spline). Quando mesurado na escala dia/hora, esta diferença foi ainda maior, ou seja, 108,8% (*i.e.*, 1,86 kg para LOWESS e 0,89 kg para a PB-spline). Conforme pode-se verificar nas figuras 16 e 19, LOWESS acompanhou mais as alterações naturais que ocorrem com o peso vivo, apresentando, consequentemente, maiores quantidades de ganhos de peso que atingiram valores negativos. Por outro lado, as curvas estimadas pela técnica PB-spline, embora tenham sido mais suaves, elas não distorceram a relação de dependência entre as variáveis.

Dessa forma, a escolha de qual técnica de suavização utilizar para as análises dos dados de sistemas automáticos de pesagem depende do risco que se deseja minimizar: *i)* Risco de cometer o erro tipo I: representado pelo falso alarme, ou seja, dizer que o lote ou o indivíduo apresentaram problemas, quando, na verdade, não apresentaram e se trata de variação normal; *ii)* Risco de cometer o erro tipo II: dizer que o lote ou indivíduo não apresentaram problemas, quando, na verdade, apresentaram. De acordo com os resultados deste estudo exploratório, os autores deste trabalho acreditam que técnicas com maior grau de suavização, mas que não perdem a relação de dependência entre as variáveis, são mais rigorosas para controlar o erro do tipo I. Por outro lado, técnicas com menor grau de suavização são mais rigorosas em controlar o erro tipo II. Assim, o próximo passo é testar estas hipóteses e, com isso, possibilitar uma melhor compreensão das variações naturais do ganho de peso.

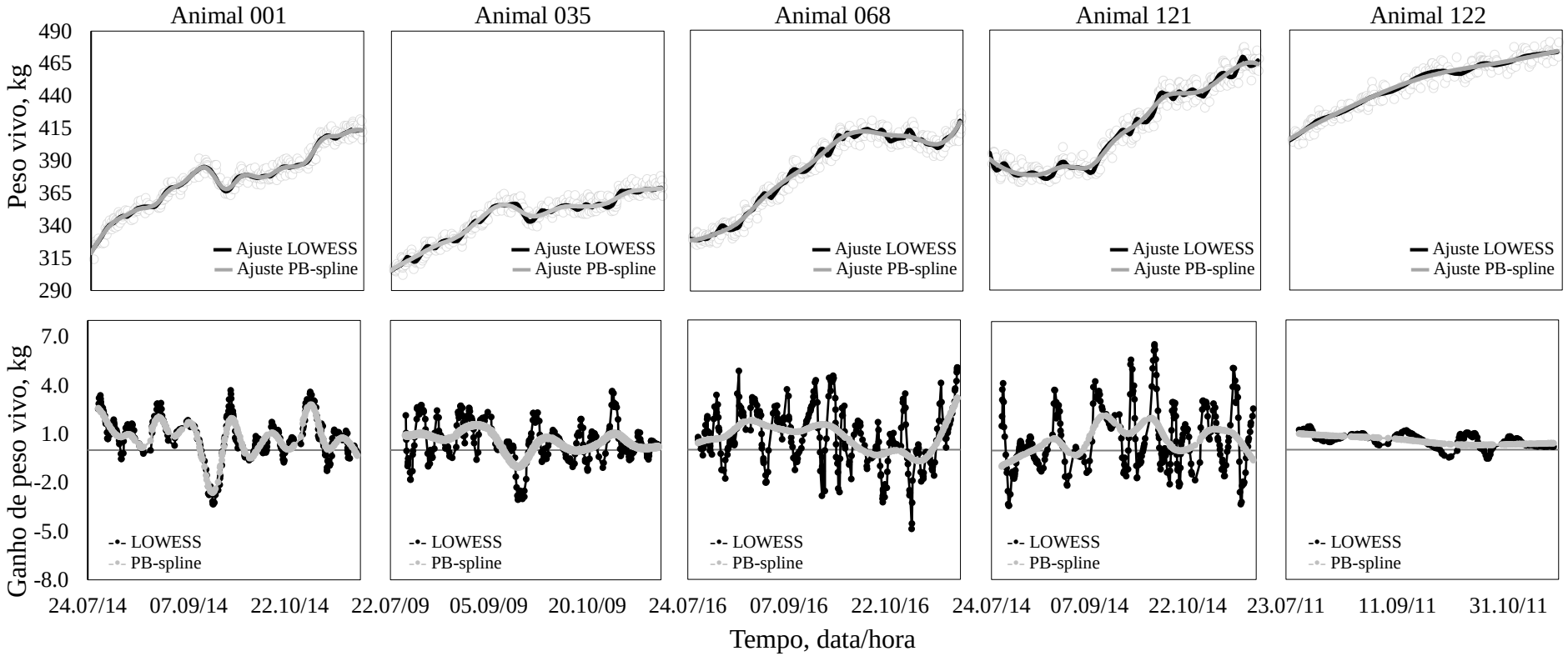

Figura 19 - Exemplificação dos ajustes dos dados de peso vivo utilizando diferentes técnicas de suavização e seu efeito nas estimativas do ganho de peso em escala dia/hora. Data/hora = dia e horário da pesagem.

4. CONCLUSÕES

O presente estudo demonstrou as dificuldades e potencialidades do uso de sistemas de pesagem automática de bovinos. Este sistema, quando integrado as técnicas de suavização aqui exploradas (i.e., *LOWESS* e PB-spline), permitiu analisar as reais mudanças que ocorrem no desempenho dos animais em intervalos curtos de tempo (*i.e.,* horas). Os algoritmos aqui explorados possibilitaram também conhecer a variação do ganho de peso diário e na escala por pesagem, bem como suas mudanças ao longo do tempo.

O enorme volume de informações gerados é tanto uma vantagem quanto uma dificuldade para o uso deste sistema. As variações diárias podem parecer exageradas e a incompreensão das causas destas variações pode contribuir para conclusões equivocadas quanto a concordância entre o sistema convencional e o automático de pesagem. Ambos os sistemas concordaram substancialmente entre si, sendo incomparáveis em termos de acurácia e precisão na determinação do peso vivo quando apenas número de pesagem são *inputs* desta análise.

Assim, quando as etapas de processamento e análise visando diagnóstico precoce de problemas estiverem definidas e as variações inerentes ao ganho de peso bem conhecidas, estes sistemas de pesagem automática poderão permitir identificações precoces de variações positivas ou negativas tanto no lote, quanto nos indivíduos.

REFERÊNCIAS

ALAWNEH, J.I.; STEVENSON, M.A.; WILLIAMSON, N.B.; LOPEZ-VILLALOBOS, N.; OTLEY, T. Automatic recording of daily walkover liveweight of dairy cattle at pasture in the first 100 days in milk. **Journal of dairy science**, v. 94, n. 9, p. 4431-4440, 2011.

ALAWNEH, J. I.; STEVENSON, M.A.; WILLIAMSON, N.B.; LOPEZ-VILLALOBOS, N.; OTLEY, T. The effect of clinical lameness on liveweight in a seasonally calving, pasture-fed dairy herd. **Journal of dairy science**, v. 95, n. 2, p. 663-669, 2012.

ALDRIDGE, M. N.; LEE, S. J.; TAYLOR, J. D.; POPPLEWELL, G. I.; JOB, F. R.; PITCHFORD, W. S. The use of walk over weigh to predict calving date in extensively managed beef herds. **Animal Production Science**, v. 57, n. 3, p. 583-591, 2017.

ANDERSON, D.M.; LANDT, J.A.; SALAZAR, P.H. Electronic weighing, identification and subdermal body temperature sensing of range livestock. In: J.L. Wheeler and R.D. Mochrie (Editors), **Forage Evaluation: Concepts and Techniques.** Commonwealth Scientific and Industrial Research Organisation and America Forage and Grassland Council, Melbourne, Australia, 1981, pp. 313-328.

ANDERSON, D.M.; WEEKS, D.L. Cattle liveweight sampled on a continuous versus intermittent basis. **Livestock Production Science**, v. 23, n. 1, p. 117-135, 1989.

BLAND, J. M.; ALTMAN, D. G. 1995. Comparing methods of measurement: Why plotting difference against standard method is misleading. **The lancet**, v. 346, n. 8982, p. 1085-1087, 1995.

BLAND, J.M.; ALTMAN, D.G. 2007. Agreement between methods of measurement with multiple observations per individual. **Journal of biopharmaceutical statistics**, 17(4), p.571-582. 2007.

BROSH, A.; AHARONI, Y.; DEGEN, A.A.; WRIGHT, D.; YOUNG, B.A. Effects of solar radiation, dietary energy, and time of feeding on thermoregulatory responses and energy balance in cattle in a hot environment. **Journal of Animal Science**, v. 76, n. 10, p. 2671-2677, 1998.

CLEVELAND, W.S.; DEVLIN, S.J. Locally weighted regression: an approach to regression analysis by local fitting. **Journal of the American statistical association**, v. 83, n. 403, p. 596-610, 1988.

CLEVELAND, W S.; LOADER, CLIVE R. Smoothing by local Regression: Principles and Methods. In: **Statistical theory and computational aspects of smoothing**. Physica-Verlag HD, 1996. p. 10-49.

DEMING, W.E. **Out of the Crisis**. MIT press, 2000.

DE VRIES A.; RENEAU, J. K. Application of statistical process control charts to monitor changes in animal production systems. **Journal of Animal Science**, v. 88, n. suppl_13, p. E11-E24, 2010.

DICKINSON, R. A.; MORTON, J. M.; BEGGS, D. S.; ANDERSON, G. A.; PYMAN, M. F.; MANSELL, P. D.; BLACKWOOD, C. B. An automated walk-over weighing system as a tool for measuring liveweight change in lactating dairy cows. **Journal of dairy science**, v. 96, n. 7, p. 4477-4486, 2013.

EILERS, P. H. C.; MARX, B. D. 1996. Flexible Smoothing with B-Splines and Penalties. **Statistical science**, p. 89-102, 1996.

FAN, J.; GIJBELS, I. Local polynomial modelling and its applications. **Monographs on Statistics and Applied Probability**. Chapman & Hall/CRC, 1996.

FAN, JIANQING. Prospects of nonparametric modeling. **Journal of the American Statistical Association**, v. 95, n. 452, p. 1296-1300, 2000.

HAN, J.; PEI, J.; KAMBER, M. **Data mining: concepts and techniques**. Elsevier, 2011.

HARDLE, W. **Applied nonparametric regression**. Cambridge university press, 1990.

KOCH, R. M.; SCHLEICHER, E. W.; ARTHAUD, V. H. The accuracy of weights and gains of beef cattle. **Journal of Animal Science**, v. 17, n. 3, p. 604-611, 1958.

LIN, L. I.-K. A concordance correlation coefficient to evaluate reproducibility. **Biometrics**, p. 255-268, 1989.

LUSH, J.L.; BLACK, W.H. How much accuracy is gained by weighing cattle three days instead of one at the beginning and end of feeding experiment. **Journal of Animal Science**, v. 1927, n. 1, p. 206-210, 1927.

LUSH, J.L.; CHRISTENSEN, F.W.; WILSON, C.V.; BLACK, W.H. The accuracy of cattle weights. **J. Agr. Research**, v. 36, p. 551, 1928.

MALTZ, E.; DEVIR, S.; METZ, J. H. M.; HOGEVEEN, H. The body weight of the dairy cow. 1. Introductory study into body weight changes in dairy cows as a management aid. **Livestock Production Science**, v. 48, n. 3, p. 175-186, 1997.

MARTIN, S.C.; BARNES, K.K.; BASHFORD, L. A step toward automatic weighing of range cattle. **Journal of Range Management**, p. 91-94, 1967.

MENZIES, D.; PATISON, K. P.; CORBET, N. J.; SWAIN, D. L. Using Walk-over-Weighing technology for parturition date determination in beef cattle. **Animal Production Science**, v. 58, n. 9, p. 1743-1750, 2018.

MCBRIDE, G. B. A proposal for strength-of-agreement criteria for Lin's concordance correlation coefficient. In: National Institute of Water & Atmospheric Research Ltd., Auckland, New Zealand. Report for Ministry of Health, Hamilton, New Zealand; 2005.

MONTGOMERY, D.C. Introduction to statistical quality control. John Wiley & Sons (New York), 2009.

NATIONAL RESEARCH COUNCIL. **Nutrient Requirements of Beef Cattle**. 7ed. Washington, DC: National Academies Press, 1996. 242p.

NATIONAL ACADEMIES OF SCIENCES, ENGINEERING, AND MEDICINE. **Nutrient Requirements of Beef Cattle: Eighth Revised Edition.** Washington, DC: The National Academies Press, 2016.

OWENS, F. N.; GILL, D. R.; SECRIST, D. S.; COLEMAN, S. W. Review of some aspects of growth and development of feedlot cattle. **Journal of animal science**, v. 73, n. 10, p. 3152-3172, 1995.

REUTER, R. R.; MOFFET, C. A. Invited Review: Designing a grazing experiment that can reliably detect meaningful differences1. **The Professional Animal Scientist**, v. 32, n. 1, p. 19-30, 2016.

SHAPIRO, S.S.; WILK, M.B. An analysis of variance test for normality (complete samples). Biometrika, v. 52, n. 3, p. 591-611, 1965.

STREET, M.J. A pulse-code modulation system for automatic animal identification. **Journal of Agricultural Engineering Research**, v. 24, n. 3, p. 249-258, 1979.

VERBYLA, A. P.; B. R. CULLIS, M. G. KENWARD, AND S. J. WELHAM. Smoothing splines in the analysis of designed experiments and longitudinal data. **Appl. Stat**, v. 48, p. 269-311, 1999.