

## DINÂMICA DE SISTEMAS: Ciclo Completo na Pecuária de Corte

### *SYSTEMS DYNAMICS: Complete Cycle in Beef Livestock*

Juliane Pires Martins Meireles<sup>1</sup>; Érico Marcelo Hoff do Amaral<sup>2</sup>; Vinicius do Nascimento Lampert<sup>3</sup>

17

Resumo: Este trabalho trata de uma modelagem e simulação em dinâmica de sistemas na pecuária de corte para entender a importância dos indicadores de produção animal e estimar o desempenho da receita de venda ao longo do tempo através da estrutura de rebanho com ciclo completo. Criou-se o modelo dinâmico desenvolvido inicialmente pela construção de três diagramas de loop causal com as relações de feedback e o tempo decorrido entre estímulo e resposta do sistema, e a simulação foi iniciada a partir de informações mostradas na interface Netlogo como deslizadores e monitores que caracterizam o sistema de produção. Este estudo tem como objetivo compreender as relações das variáveis em sistemas de pecuária de corte por meio dos diagramas de loop causal para garantir a representação da dinâmica do sistema e a direção ou magnitude das mudanças nos resultados. Estes podem ser estimados usando taxas de natalidade e mortalidade. A eficiência do sistema também inclui a taxa de lotação. Foi possível quantificar a magnitude dos efeitos dos indicadores ao longo do tempo, considerando limites máximos de investimento ou custos dadas as condições definidas de funcionamento.

**Palavras-chave:** Dinâmica de Sistema; Modelagem; Pecuária de corte.

<sup>1</sup> Discente do Programa de Pós-Graduação em Computação Aplicada, Universidade Federal do Pampa (UNIPAMPA), Campus Bagé – Avenida Maria Anunciação Gomes de Godoy, nº1650, Bairro Malafaia, CEP: 96413172 Bagé(RS) Brasil. {julianemartins.aluno@unipampa.edu.br}

<sup>2</sup> Docente do Programa de Pós-Graduação em Computação Aplicada, Universidade Federal do Pampa (UNIPAMPA), Campus Bagé – Avenida Maria Anunciação Gomes de Godoy, nº1650, Bairro Malafaia, CEP: 96413172 Bagé(RS) Brasil. {ericoamaral@unipampa.edu.br}

<sup>3</sup> Docente do Programa de Pós-graduação em Computação Aplicada, Universidade Federal do Pampa (UNIPAMPA), Campus Bagé – Avenida Maria Anunciação Gomes de Godoy, nº1650, Bairro Malafaia, CEP: 96413172 Bagé(RS) Brasil e Pesquisador da Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária (Embrapa Pecuária Sul / CPPSUL) – Rodovia BR-153, Km 632,9 Vila Industrial, Zona Rural, CEP: 96401-970, Bagé (RS) Brasil. {vinicius.lampert@embrapa.br}

*Abstract: This work deals with modeling and simulation in system dynamics in beef cattle farming to understand the importance of animal production indicators and estimate the performance of sales revenue over time through the herd structure with a full cycle. The dynamic model initially developed was created by constructing three causal loop diagrams with feedback relationships and the time elapsed between stimulus and system response, and the simulation was started based on information shown in the Netlogo interface such as sliders and monitors that characterize the production system. This study aims to understand the relationships of variables in beef cattle farming systems through causal loop diagrams to ensure the representation of system dynamics and the direction or magnitude of changes in results. These can be estimated using birth and death rates. System efficiency also includes stocking rate. It was possible to quantify the magnitude of the indicators' effects over time, considering maximum investment limits or costs given the defined operating conditions.*

*Keywords: Beef cattle; Modeling; System Dynamics.*

## 1 INTRODUÇÃO

Nas últimas décadas, a atividade pecuária tem se tornado um segmento competitivo, exigindo aperfeiçoamento na modernização da tecnologia, gestão, especialização e profissionalismo. Essa intensificação presente no dia a dia rural gera sucesso na produção, além de aumentar a capacidade da expansão econômica no mercado interno (TEIXEIRA E HESPANHOL, 2014).

Uma prática importante nos sistemas de produção de carne bovina é a busca pelo aumento da produtividade a níveis suficientes para garantir que a indústria de carne bovina permaneça economicamente viável. A metodologia aplicada à pecuária de corte está relacionada ao sistema de ciclo completo em alguns modelos de Dinâmica de Sistemas, baseado na representação do rebanho usando um grupo de indivíduos cujo comportamento deriva do desempenho de um animal médio (SIEBERS et. al, 2010), ou ainda para simplificar e entender a realidade de como as variáveis dos sistemas afetam a atividade da pecuária de corte uma vez que estes consideram os principais fatores da produção de gado (PINI et. al, 2014). O desenvolvimento desses modelos se deve principalmente à forte relação entre a

economia e os bons resultados produtivos para que os produtores possam tomar a melhor decisão.

Nesse sentido, a literatura sobre dinâmica de sistemas é vasta e ainda está crescendo, e muitos artigos sobre essas aplicações foram publicados. As aplicações incluem as modelagens matemática para apoiar o avanço da produção animal sustentável discutidos por Tedesh (2023), o modelo empírico que avalia os impactos do mercado e da rentabilidade agrícola de Simões et. al, (2020), o processo de modelagem utilizando dois exemplos da pecuária em diferentes escalas por Nicholson et al., (2019), entre muitos outros baseados em processos de feedback, a estrutura do modelo, os atrasos e as não-linearidades intrínsecas ditam estratégias empresariais e de gestão (Sterman, 2000).

Dessa forma, o uso de ferramentas desenvolvidas sob o arcabouço metodológico das ciências complexas, como na dinâmica de sistemas que utiliza linguagem natural, facilita a explicação da estrutura hipotética do sistema que causa um comportamento dinâmico observado. Por esta razão, o foco em dinâmica de sistemas parece ser razoavelmente pertinente para representar, simular e analisar a complexidade dos sistemas agropecuários. Nesse contexto, o objetivo desse trabalho é desenvolver um modelo para a dinâmica de sistemas de ciclo completo na pecuária de corte para estimar a produtividade geral a partir de coeficientes técnicos de produção.

Este artigo está organizado da seguinte forma: Na Seção 2 é apresentado o referencial teórico sobre o sistema de produção de gado de corte, dinâmica de sistemas e diagrama de influência. Na Seção 3 é descrita a metodologia utilizada para realização desse trabalho. Na seção 4 mostra os resultados e discussões obtidos a partir da descrição do modelo e diagramas de loop causal. O trabalho será finalizado na Seção 5, com as conclusões e propostas de trabalhos futuros.

## **2 REFERENCIAL TEÓRICO**

Nesta seção serão abordados assuntos relacionados ao trabalho desenvolvido, sendo inicialmente abordados os fundamentos e teorias relacionados ao sistema de produção agropecuário. Em seguida, o conceito de dinâmica de sistemas e principais características. Por

fim, é apresentado a diagrama de influência a qual pode ser considerada elemento fundamental para este estudo.

## 2.1 SISTEMAS DE PRODUÇÃO DE GADO DE CORTE

Os sistemas de produção variam dependendo, entre outros fatores, do ambiente de produção. A carne bovina tende a ficar mais forte ao especializar suas etapas com o intuito de aperfeiçoar e aumentar a eficiência. O bioma Pampa, ao qual abrange todo território Uruguaio, uma parte da Argentina e cerca de dois terços do estado do Rio Grande do Sul do Brasil, têm como principal atividade econômica a pecuária extensiva, uma vez que seus solos de boa fertilidade resultam a produção agrícola. A pecuária baseia-se principalmente nas raças *Bostaurus*, como Hereford, Aberdeen Angus, Simental e Charolês, em pastagens nativas com pastoreio contínuo e extensivo (RUVIARO et al., 2016).

O aumento da demanda por produtos de origem animal levou ao aumento do tamanho das fazendas. Gerenciar uma grande propriedade, garantir que as demandas de produção sejam atendidas e as preocupações ambientais não sejam desconsideradas são fatores que causaram a mudança da agricultura tradicional para a tecnologia. Segundo Hazard et al. (2018), o negócio agrícola é arriscado, porque a operação as saídas estão sujeitas a eventos naturais imprevisíveis (clima, doença, etc.) e fatores econômicos em mudança (demanda de mercado, flutuação de preços, etc.). Claramente, os aspectos importantes da gestão da produção quanto ao controle de riscos, mudanças (novas práticas, produtos e técnicas) e alocação de recursos requerem abordagens inovadoras que reconheçam e foquem no holístico e na dimensão dos sistemas agrícolas.

Do ponto de vista socioeconômico, segundo Santos, Trevisan et al. (2009), as baixas taxas de produtividade da pecuária extensiva resultam em retornos mínimos da economia local, causando baixa densidade populacional e menor desenvolvimento em relação a outras regiões do estado, principalmente quando se comparam índices, como PIB per capita e geração de empregos.

O gado em pastagem nativa é visto como a principal ferramenta de conservação, pois mantém a diversidade da flora e fauna do bioma Pampa ao impedir o avanço da fronteira

agrícola. No entanto, o manejo inadequado da pecuária nesta região devido ao excesso de lotação do pastejo durante o inverno, gera perda de peso dos animais, além de consequências negativas da cobertura do solo, contribuindo para a degradação das pastagens. Segundo NEUMANN, ZUCHONELLI e PRIEB (2006), a inovação tecnológica é necessária para identificar os fatores que limitam a eficiência econômica dos sistemas de produção.

O sistema de produção de gado de corte é dividido em três categorias gerais temporais: cria (produção de bezerros), recria (boi e vaca magras e fêmeas de reposição) e terminação (boi e vaca gorda). Os sistemas que executam uma ou duas etapas são sistemas especiais que podem envolver apenas criação, criação e recriação, recriação e engorda ou apenas engorda. Há também aqueles que são denominados ciclo completo por abrangerem as três etapas: cria, recria e terminação (CANELLAS, 2015). Os indicadores técnicos e econômicos variam de acordo com os sistemas de produção. Em sistema apenas de cria, a venda de vacas ao abate constitui grande parte da receita total do sistema; em ciclo completo, os machos engordados contribuem mais, pois é um produto mais valioso que a vaca descarte. Os sistemas de produção de recria e engorda são mais efetivas no ganho de peso do que as vacas, além do maior preço de venda do boi gordo (BARBOSA et al., 2010).

Das várias etapas do sistema de produção da pecuária de corte, a criação é considerada a mais complexa e é a que sustenta a atividade ao iniciar a cadeia produtiva da carne. Nesta fase, o bezerro entra em uma fase exponencial de crescimento, desde que lhe seja oferecida uma dieta de alta qualidade (SESSIM, 2020). A produtividade de um rebanho de bezerros é medida pelo número e peso dos bezerros desmamados. Nesse sentido, a nutrição de vacas gestantes é uma importante ferramenta para melhorar a eficiência e produtividade de vacas e bezerros em longo prazo, bem como a qualidade da carcaça e da carne (ZAGO, 2017).

Em sistemas de produção vaca-bezerro, a paridade das vacas pode afetar alguns elementos-chave relacionados à eficiência da produção, como a taxa de concepção das vacas e o peso ao desmame de seus bezerros, indicando que o efeito da paridade das vacas na estratégia de descarte pode ser um fator importante quando a otimização econômica dos sistemas de produção é direcionada ao nível do rebanho (OISHI et al., 2013). De acordo com Kugler et al. (2008), a tecnologia de desmame precoce é disponível para aplicação em sistemas

de criação de bovinos. A viabilidade desta técnica tem sido demonstrada na área, observando uma melhora significativa na condição corporal das vacas e na taxa de prenhez.

As respostas produtivas e econômicas dos sistemas pecuários são os resultados da interação dos diferentes componentes biofísicos (solo, forragem, animais), e são fortemente influenciados pelo seu manejo e pelos aspectos incontrolláveis, como clima e mercados. A taxa de lotação pode ser um dos fatores mais importantes que um agricultor obterá em um equilíbrio entre oferta e demanda de forragem. Dentro de uma determinada faixa de carga animal, um aumento significa uma menor resposta individual, porém é compensada pelo maior número de animais, levando a um acréscimo da produção por unidade de área. No entanto, em níveis muito altos de taxa de lotação, os efeitos sobre a produção individual e por unidade de área pode ser negativa. Por outro lado, como a carga é um fator de peso preponderante nos sistemas pastoris é lógico que haja interação com outros fatores passível de gestão (ORIONTE, 2014).

A fase de recria adiciona peso corporal aos bezerros recém desmamados, resultando em novilhos prontos para o confinamento. Em comparação com a fase de pré-desmame, a taxa de crescimento do gado durante a recria costuma ser significativamente reduzida em condições normais de exploração de bovinos de corte no Bioma Pampa. A razão é que, além do estresse causado pelo desmame, o início da criação coincide principalmente com a estação seca, quando a disponibilidade e a qualidade das pastagens se deterioram claramente. Baixas taxas de crescimento durante o cultivo prolongam a duração desta fase de crescimento, atrasando o início do período final e, portanto, alongando o ciclo de produção (MAGNABOSCO et al., 2009). Já a fase de terminação da produção é onde o gado é alimentado até atingir o peso de mercado. O ato de alimentar um animal exclusivamente com pasto condiciona a taxa de ganho de peso diário, sendo este um fator importante ao tentar engordar animais em idade precoce ou no outono e inverno, onde sua qualidade não é suficiente para atingir o depósito de gordura necessário para comercialização e trabalho (CAMINOS et al., 2015).

Em sistemas de terminação de bovinos de corte, quando os animais são suficientemente alimentados após um período de redução de energia via nutrição restrita, ocorre o processo

fisiológico de crescimento compensatório, o que significa um período de maior crescimento em comparação com aqueles não submetidos à restrição alimentar.

De acordo com Andrade e Ferreira (2021), os sistemas de bovinos de corte são classificados em três categorias diferentes: Intensivo (tempo de terminação de 12 a 15 meses), semi-intensivo (15 a 20 meses) e extensivo (mais de 20 meses). Os sistemas intensivos são mais dependentes de concentrados, enquanto os sistemas extensivos são geralmente baseados em forragem e pasto. Em geral, os sistemas intensivos terão melhor conversão alimentar e maiores ganhos de peso vivo, maiores custos de alimentação por dia, mas menores requisitos gerais de alimentação. Um sistema semi-intensivo envolve períodos de pasto, um inverno intermediário com um período de terminação em confinamento. A localização de uma propriedade e sua capacidade de produzir ou obter diferentes tipos de ração também podem desempenhar um papel na determinação do sistema de terminação. As fazendas que têm uma fonte de cereais ou subprodutos são mais propensas a operar um sistema intensivo, enquanto as fazendas em áreas de pastagem operarão sistemas semi-intensivos ou extensivos.

## 2.2 DINÂMICA DE SISTEMAS

A Dinâmica de Sistemas é uma metodologia que usa teoria de feedback e controle de informações para avaliar negócios. Esta abordagem busca estudar as estruturas dos sistemas organizacionais e sociais por meio das relações causais descritas em termos de elementos e fluxos (fluxos sendo as relações entre os elementos) por meio do estudo de sua evolução ao longo do tempo. O foco principal da metodologia é a estrutura composta pelas interações dos elementos (fluxos e níveis) entre eles (FIGUEIREDO, 2010). Essencialmente, a dinâmica de sistema visa prever o comportamento de um sistema e, para isso, depende fortemente do uso de um modelo com uma estrutura complexa e os ciclos de feedback que vinculam cada elemento dentro dessa estrutura.

A complexidade dinâmica surge como o comportamento contra-intuitivo de sistemas complexos pela interação dos agentes ao longo do tempo. Ela surge, porque os sistemas complexos estão em constante mudança, fortemente acoplados, governados por feedback, não lineares, auto-organizados, adaptativos e resistentes a gestão, entre outras características

(STERMAN, 2001). O processo de dinâmica de sistema de acordo com Rodriguez-Ulloa R. (2005), segue três etapas resumidas da seguinte forma:

- Compreensão da definição da situação/problema;
- Conceitualização/construção de modelo;
- Executando o modelo de simulação/usando os resultados.

A ênfase na definição do problema é um dos principais passos da metodologia dinâmica de sistemas. O problema é descrito juntamente com os fatores causais e as relações entre eles, esses fatores são enquadrados em ciclos de informação-feedback que são usados para modelagem. Na construção do modelo é utilizado um diagrama causal desinal que ajuda a compreender as influências entre as variáveis/elementos. Uma vez que o modelo é construído, diferentes cenários são analisados e usados para testar diferentes decisões. Os usuários podem explorar diferentes situações hipotéticas.

Em dinâmica de sistemas, estoques representam estoques reais de materiais, indivíduos, animais, dentre outros, que consiste em formalizar o modelo especificando as variáveis de estoque que caracterizam o modelo em qualquer instante  $t$ . Seus valores variam em função dos fluxos que alimentam ou esvaziam os estoques. Fluxos definem suas taxas de mudança – como os valores dos estoques mudam e definem a dinâmica do sistema. Os fluxos consistem, portanto, em canais de transporte de matéria ou energia.

Eles são conservativos e são controlados por torneiras que regulam o fluxo dependendo das forças que atuam sobre o sistema (GRIGORYEV, 2015). Desta forma, as variáveis auxiliares podem ser constantes ou o resultado de uma equação pode depender de outras variáveis. Os fluxos oferecem a possibilidade de introduzir a não linearidade. Essas informações são representadas dentro do modelo por links que atuam como rotas de informação.

No nível metodológico, é necessário afirmar quais elementos pertencem ao ambiente e ao sistema, bem como sua eventual decomposição. Isso permite que os elementos de entrada (entrada) e saída (saída) sejam identificados. A dinâmica do sistema governa a mudança de entradas para saídas. É também neste nível que os loops de feedback positivo e negativo



devem ser identificados. Os loops de feedback negativo têm um efeito estabilizador, pois reduzem o fenômeno, enquanto os loops de feedback positivo o amplificam. Esta etapa de conceituação identifica se o modelo é influente ou causal (CORSON; OLIVIER, 2015).

Na pesquisa agrícola, especialmente no campo da pecuária de corte, embora tenha sua própria abordagem para entender o sistema, ou seja, abordagem biofísica, ainda é limitada pela existência da complexidade agropecuária (RAILSBACK; GRIMM, 2019).

A dinâmica de sistemas pode representar a cadeia de produção de carne bovina levando em conta as especificidades de cada animal, como sua raça e sexo. Além de incluir elementos que podem levar em conta variáveis aleatórias, como peso ao nascer, taxa de crescimento, preços per capita do bezerro ou atributos que respondem pelas proporções esperadas do animal (ADDIS et al., 2022).

### 2.3 DIAGRAMA DE INFLUÊNCIA

O diagrama de influência, conhecido como diagrama de loop causal, é uma abordagem apropriada para avaliar problemas (comportamentos ao longo do tempo que são considerados problemáticos pelos tomadores de decisão) envolvendo variáveis multidimensionais conectadas por processos de feedback que fornecem uma representação visual da estrutura do sistema e do Stock-and-Flow (diagrama que destaca estruturas de atraso e taxas que controlam os principais resultados dinâmicos). Juntos, esses diagramas descrevem a hipótese dinâmica (SIMÕES, 2018).

Essas ferramentas de diagramação fornecem uma base para o desenvolvimento e avaliação de um modelo formal de simulação matemática. O diagrama causal representa os elementos-chave do sistema e as relações entre eles, é uma ferramenta importante para a representação esquemática do feedback de sistemas e é útil para representar de forma qualitativa e simplificada hipóteses sobre as causas da dinâmica (GARCÍA, 2020).

As variáveis de um sistema e as relações hipotéticas entre essas variáveis podem ser representadas graficamente. O diagrama mostra as relações como setas entre as variáveis. Essas setas são marcadas com um sinal (+ ou -) que indica a influência que uma variável

exerce sobre a outra. A "+" significa que uma mudança na variável de influência produzirá uma mudança na mesma direção no alvo. A "-" significa que o efeito será o oposto (FORRESTER, 1997).

### 2.1.1 Feedback

Uma cadeia fechada de relacionamentos pode ser chamada de loop ou loop de feedback. O diagrama pode ser loop de feedback de reforço ou de balanço. O Loop de Reforço é representado pela letra R no seu centro, a mudança em uma direção é compostapor mais mudanças. Por exemplo, o dinheiro em uma conta poupança gera juros, o que aumenta o saldo da conta poupança e rende mais juros, ou seja, à medida que o tempo passa esta se torna cada vez maior (comportamento exponencial). Já o Loop de Balanço ou loop de balanceamento, representado pela letra B no seu centro, contrabalançam a mudança em uma direção com a mudança na direção oposta, ou seja, retroalimentação em um modelo a partir de uma variável resposta obtida em um tempo  $n$  contribui para que este, em um tempo  $n+1$ , mantenha-se mais próximo de um equilíbrio pré-estabelecido, em comparação ao tempo  $n$  (SANTOS et al., 2019).

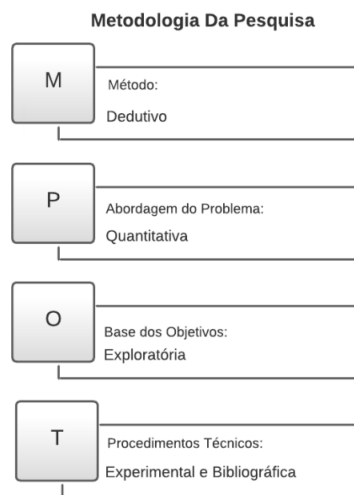
Os loops são definidos como "positivos" quando o número de relacionamentos negativos é par. Se o número de relacionamentos negativos for ímpar, o loop é "negativo". Loops negativos tendem a estabilizar o modelo, enquanto loops positivos tendem a desestabilizá-lo, independentemente do problema básico em questão. O sinal de negativo na ponta da flecha que conecta duas variáveis representa uma relação inversa entre uma variável e outra, ou seja, enquanto uma cresce, a outra diminui (ANDERSON; JOHNSON, 1997).

Em diagramas de causalidade o conceito de loop é muito útil, pois permite analisar e trabalhar em direção ao seu comportamento dinâmico a estrutura do sistema que está sendo estudada. Se um sistema permanece em equilíbrio ou cai rapidamente, é possível identificar as razões estruturais e tomar a decisão de como proceder para modificar os laços causais que vão influenciá-lo. O uso mais importante desse conceito é entender como a estrutura dos sistemas afeta seu comportamento.

### 3 METODOLOGIA

As pesquisas científicas podem ser classificadas quanto à natureza, ao método, a base dos objetivos, quanto ao procedimento técnico e quanto à abordagem do problema (DELMASSO, COTTA E SANTOS, 2012). Os parâmetros da metodologia científica predominantes nesse trabalho são resumidos na Figura 1. Empregou-se o método dedutivo, visto que será avaliada a hipótese de trabalho formulada para análise dos resultados e enfim chegada de conclusões. Quanto a sua natureza, esta pesquisa é caracterizada como uma pesquisa aplicada, levando em consideração que as variáveis de saída poderão medir a eficiência de aspectos produtivos, econômicos e ambientais no sistema de produção na pecuária de corte. Como abordagem de pesquisa, adotou-se como quantitativa, pois esta possui como principal característica o ato de mensurar as variáveis de pesquisa. Segundo Miguel et al. (2010), as variáveis são determinadas pela teoria e o pesquisador pouco interfere nelas. Quanto aos objetivos, buscou-se de forma exploratória simular o comportamento de um sistema ao longo do tempo e, conseqüentemente, gerar informações para tomar a melhor decisão de interesse, considerando todas as variáveis possíveis.

Figura 1: Metodologia da Pesquisa



Fonte: Autores, 2023.

Em relação aos procedimentos técnicos, esta pesquisa é classificada como experimental, pois se buscou avaliar e manipular as variáveis de forma a observar se cada alteração produz os resultados esperados através da modelagem e simulação. Outro procedimento técnico

característico desta pesquisa é a bibliográfica, para embasar o desenvolvimento do trabalho, buscou-se encontrar soluções similares ao problema colocado através da revisão sistemática de literatura.

A pesquisa científica desenvolvida em três fases principais, claramente definidas e previamente avaliadas. A fase 1 é definida como a etapa inicial deste trabalho com base em estudos relacionados à aplicação de modelagem no processo produtivo agropecuário. A fase 2 contempla a análise do comportamento ao longo do tempo através de diagramas de loop causal como uma hipótese dinâmica. Os diagramas fornecem uma representação simplificada dos processos básicos de feedback de fluxo de estoque representados posteriormente no modelo dinâmico, além de descrever possíveis comportamentos hipotéticos do sistema.

A fase 3 é definida como a etapa final do trabalho, apresentação e avaliação do projeto parcial, discussão e ajustes ao modelo. O foco principal nesta etapa foi avaliar a eficácia de se investir na proposição defendida neste trabalho. Foram empregados os dados de entrada e observados se os dados de saída correspondiam aos resultados dos diagramas de loop causal.

Com base nos conceitos teóricos estudados e os resultados alcançados, avaliou-se a capacidade de predição da produtividade perante as variáveis utilizadas. Esta capacidade pode ser melhorada e tornar o sistema de produção cada vez mais robusto para que seja possível auxiliar o produtor da maneira mais eficaz e eficiente possível.

#### **4 RESULTADOS E DISCUSSÃO**

A proposta de modelagem da dinâmica de sistemas contempla as seguintes etapas principais: a) construção de diagramas que visam o entendimento explícito de um problema contendo as relações entre as variáveis do modelo como forma representativa de "mapas mentais" dos analistas e tomadores de decisão; b) especificação e desenvolvimento de modelos matemáticos, que visam formalizar as relações de feedback e o tempo decorrido entre estímulo e resposta do sistema e; c) simulações do modelo, que testam cenários diferentes em relação aos diagramas de loop causal. Os valores máximos e mínimos de cada variável do modelo são descritas na Tabela 1.

Tabela 1: Condições de uso das variáveis do modelo

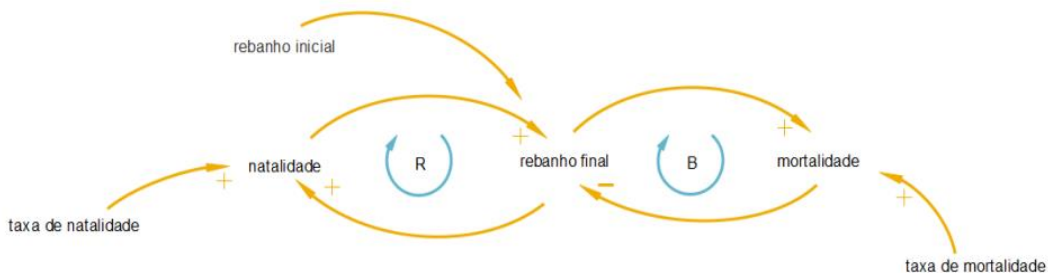
Variável	Unidade	Valores
Taxa de Natalidade	(%)	50 a 80
Taxa de Mortalidade	(%)	2 a 5
Taxa de Lotação	UA ha <sup>-1</sup>	0,5 a 1,5
Rebanho Inicial	UA	0 a 100
Custo do Rebanho	reais cab <sup>-1</sup> ano <sup>-1</sup>	0 a 2000
Preço de Venda	reais kg vivo <sup>-1</sup>	0 a 25

Fonte: Autores, 2023.

Na primeira etapa foram desenvolvidos três diagramas de influência, conhecido como Diagramas de Loop Causal, descrevendo como as variáveis podem se reforçar (R) ou se equilibrar (B) entre si. As influências causais entre duas variáveis são indicadas por uma seta. Cada um desses vínculos causais tem polaridade, e isso explica como essas variáveis estão relacionadas. Ele pode se mover na mesma direção ou na direção oposta.

A Figura 2 mostra uma iniciativa conjunta das variáveis envolvidas nos sistemas de ciclo completo na pecuária de corte. O rebanho final é o tamanho do rebanho e está relacionado com a natalidade, mortalidade e rebanho inicial. O R sinaliza que há um loop de reforço no sistema entre a natalidade e o tamanho do rebanho final, ou seja, quanto maior a natalidade maior o tamanho do rebanho final e vice-versa (reforço positivo). O B indica que se ocorrer um aumento no rebanho final, aumentará a mortalidade, mas ao mesmo tempo um aumento da taxa de mortalidade reduz o rebanho final, ou seja, uma relação de equilíbrio.

Figura 2: Primeira etapa do diagrama de influência.

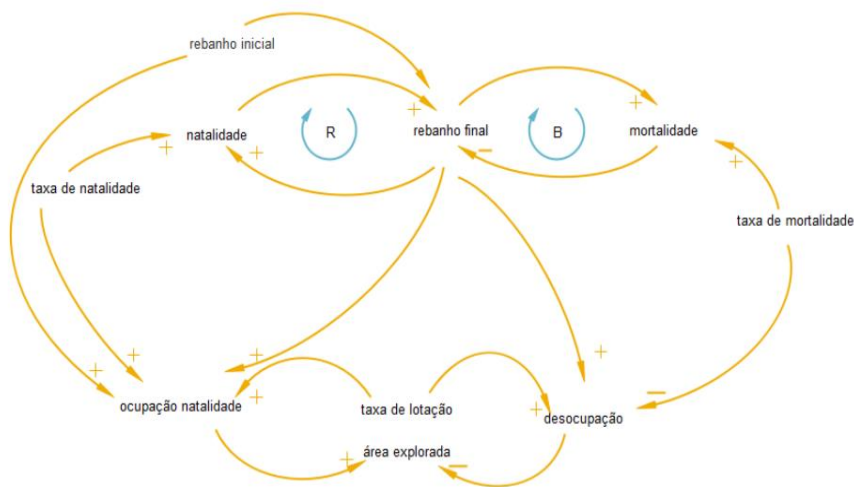


Fonte: Autores, 2023.

A segunda etapa, mostrado na Figura 3, busca encontrar a área de exploração a partir do tamanho do rebanho final. Neste caso, ocorre uma relação de equilíbrio no sistema entre a mortalidade, natalidade e o tamanho do rebanho. Presume-se que a área ocupada através da taxa de natalidade (ocupação natalidade) varia consoante o tamanho do rebanho e determina um fator fundamental que é a área explorada.

Em relação à taxa de mortalidade, a área explorada diminui com o aumento da desocupação, dessa forma, taxa de mortalidade é inversamente proporcional a área que precisa ser desocupada.

Figura 3: Segunda etapa do diagrama de influência.

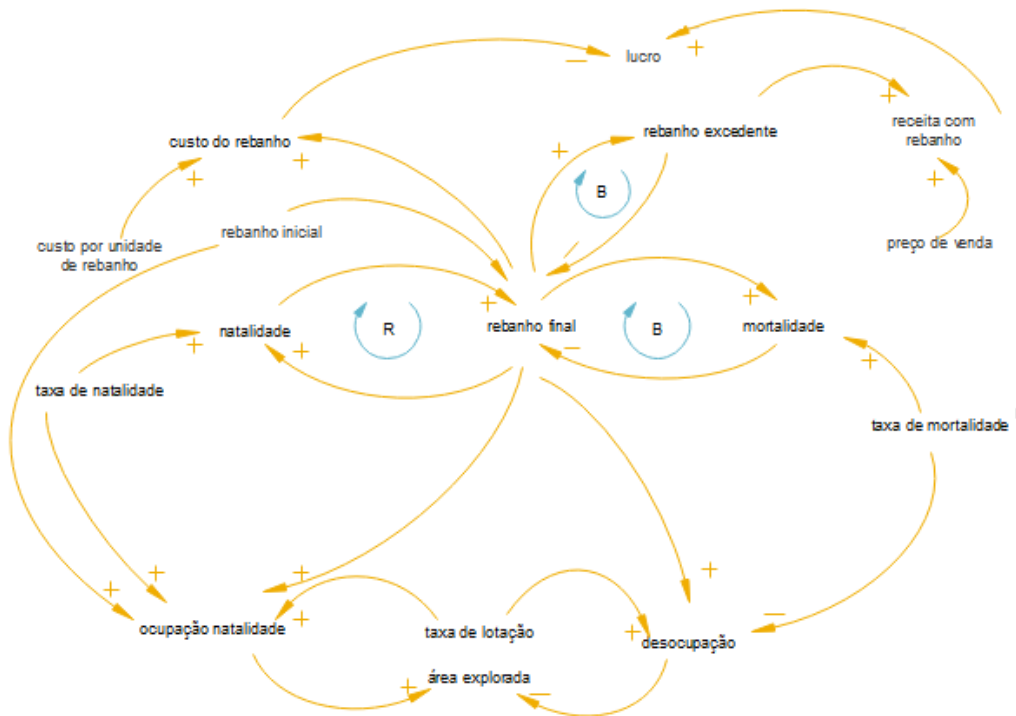


Fonte: Autores, 2023.

A terceira etapa do diagrama, mostrado na Figura 4, refere-se à relação entre o efetivo de que se desfruta, retirado do sistema anualmente, e o efetivo existente na área explorada, mais a variação do estoque. Isso é particularmente importante para sistemas de ciclo completo. O efeito do ciclo de equilíbrio entre o rebanho final e o rebanho excedente pode ajudar a compensar os potenciais efeitos negativos.

O aumento do rebanho final afetará positivamente o rebanho excedente, o que resultará no aumento da receita do rebanho e uma influência positiva no preço de venda e no lucro. Contudo, um aumento no rebanho final e no custo por unidade de rebanho implicará na redução do lucro. Após a estabilização do tamanho do rebanho final, a receita gerada pela venda do rebanho excedente tenderá a ser maior que o custo de manutenção do rebanho.

Figura 4: Terceira etapa do diagrama de influência.



Fonte: Autores, 2023.

O modelo foi orientado para a produção, ou seja, o objetivo principal do diagrama de influência foi facilitar o entendimento dos processos realizados para estimar a produtividade de modo a avaliar o tamanho do rebanho ideal para se gerar o maior lucro possível. Para isso,

considera-se o tamanho da área disponível e os custos provenientes do rebanho. Quando o rebanho atingir a capacidade suporte da propriedade, a produtividade será o rebanho excedente, sendo que a distribuição das categorias animais reflete os efeitos das variáveis no nascimento, morte e venda.

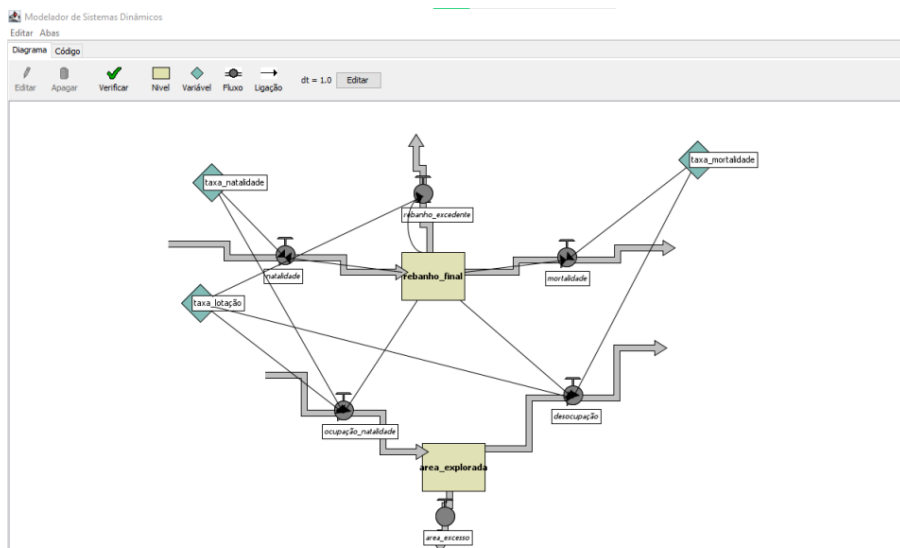
A construção dos diagramas de influência deve garantir a representação da dinâmica do sistema, o que permite acompanhar a evolução do modelo escolhido ao longo do tempo. Esta abordagem agrega um conjunto de elementos em interação que compõem um sistema cujas características são o resultado emergente da dinâmica global (CHIACCHIO et al., 2014). Observe que sem um modelo de simulação quantitativo que represente empiricamente esses processos, não é possível determinar a direção ou magnitude das mudanças nos resultados.

O modelo foi desenvolvido através da ferramenta modelador dinâmico. Quando este módulo é aberto, uma segunda janela aparece, contendo as abas Diagrama e Código. A guia Diagrama possui elementos básicos do diagrama e relacionamentos a serem criados. Este diagrama é traduzido no código NetLogo que pode ser lido, mas não editado diretamente de dentro theCodetab (TISUE; WILENSKY, 2004).

De acordo com a figura 5, as variáveis tamanho do rebanho e área disponível são referidas como níveis, pois representam o estoque que se acumula ou se esgota ao longo do tempo real do modelo. A taxa de natalidade, taxa de mortalidade e taxa de lotação são representadas como variáveis globais.

Figura 5: Modelador de Sistemas Dinâmicos Netlogo.



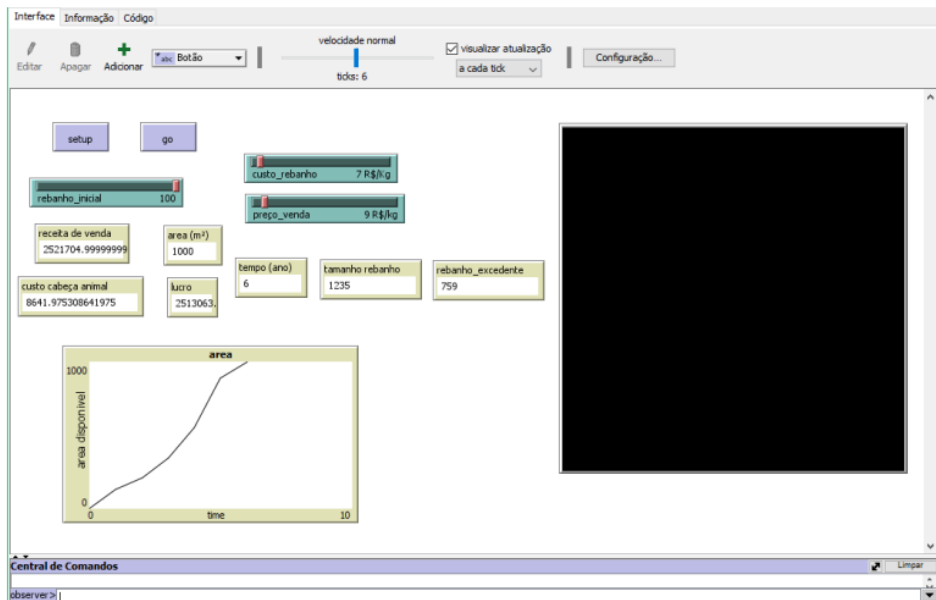


Fonte: Autores, 2023.

O fluxo de natalidade expressa a quantidade de animais que nascem de acordo com o rebanho final e a taxa de natalidade. A taxa de natalidade foi aplicada no rebanho inicial, entretanto, futuramente, deve-se ajustar o modelo de estoque para as diferentes categorias aplicando esta taxa exclusivamente nas fêmeas aptas para reprodução. O fluxo de ocupação de natalidade é gerado para mostrar a área que os animais que nasceram ocupam. Já o fluxo de mortalidade expressa a quantidade de animais que morrem através da taxa de mortalidade e rebanho final. Logo, o fluxo de desocupação refere-se à área que o rebanho que morreu desocupa.

Diante do exposto, a interface primária é usada para a simulação do modelo, conforme mostrado na Figura 6. O deslizador chamado de rebanho inicial possui variação de 0 a 1000, pois cada produtor terá um rebanho inicial conforme sua propriedade rural. Em seguida, foram criados três monitores: Área, tempo e tamanho do rebanho, com o intuito de mensurar o tempo necessário para ocorrer a natalidade e mortalidade perante uma área de lotação ideal. Dessa forma, quando a área hipotética de 1.000 hectares ocupada pelo rebanho atingir este valor, o simulador será parado.

Figura 6: Simulação Netlogo.



Fonte: Autores, 2023.

Após o sexto ano, o rebanho excedente é vendido por um determinado preço de venda (reais por quilo vivo comercializado), o que torna necessária a determinação do peso do rebanho excedente. Com isso, foi-se então gerada a receita da propriedade. A venda é exclusiva para animais que refletem a comercialização para abate, consideram-se apenas animais produzidos na propriedade rural, pois não é considerado compra de animais. Em contra partida, o rebanho que permanece na propriedade gera custos ao produtor, visto que este rebanho precisa ser mantido saudável para poder reproduzir. A dificuldade de realizar uma análise completa de custos ocorre, entre outros motivos, porque não existe um protocolo padrão previamente definido, uma vez que existem diferentes formas de conceituar custos (SARTORELLO; BASTOS; GAMEIRO, 2018).

Diante do exposto, o controle das taxas de natalidade e mortalidade é de fundamental importância, visto que elas determinarão o tamanho do rebanho e, conseqüentemente, o rebanho excedente comercializado. Dessa forma, métodos para aumentar a qualidade e expectativa de vida do rebanho como bem-estar animal, suplementação, manejo, dentre outros, são de fundamentais importâncias para o lucro do produtor rural.

## 5 CONSIDERAÇÕES FINAIS

Com base nos resultados alcançados, a construção do modelo pelo software Netlogo proporcionou o desafio de entender parcialmente o funcionamento dos sistemas de produção e os coeficientes técnicos. A principal atribuição do trabalho foi a construção dos diagramas de influência em que favoreceram a acurácia do modelo, as suposições sobre os limites do modelo e a estrutura de feedback.

De forma geral, dada as restrições do modelo, ele poderá ser utilizado para identificar em que circunstâncias de desempenho zootécnico a taxa de lotação diminui ou aumenta a produtividade. Essa avaliação contribui na geração de soluções estratégicas para o tomador de decisão, permitindo intervenções futuras e revisões por demais profissionais que tenham interesse em aprimorar este modelo.

Como trabalhos futuros, pode-se construir um modelo dinâmico com uma caracterização mais detalhada dos sistemas pecuários nas diferentes categorias do rebanho com estoques separados para contemplar os índices propostos. A flexibilização das proporções das categorias pode melhorar a eficiência do sistema de produção de carne bovina.

## REFERÊNCIAS

- ADDIS, A. H. et al. Agent-based modeling to improve beef production from dairy cattle: Model description and evaluation. *Agriculture*, MDPI, v. 12, n. 10, p. 1615, 2022. Disponível em: <https://www.mdpi.com/2077-0472/12/10/1615>. Acesso em: 12 set. 2023.
- ANDERSON, V.; JOHNSON, L. Systems thinking basics. In: **From Concepts to Causal Loops**. Cambridge, MA: Pegasus Communications, 1997.
- ANDRADE, G. D. d.; FERREIRA, L. **Revisão de literatura: Evolução da bovinocultura no Brasil**. FAEMA - Faculdade de Educação e Meio Ambiente. Trabalho Conclusão de Curso em Agronomia, ARIQUEMES, RO, 2021. Disponível em: <http://repositorio.faema.edu.br:8000/jspui/handle/123456789/2984>. Acesso em: 07 set. 2021.
- BARBOSA, F. et al. Produtividade e eficiência econômica de sistemas de produção de cria, recria e engorda de bovinos de corte na região sul do estado da Bahia. *Arquivo Brasileiro de Medicina Veterinária e Zootecnia*, SciELO, v. 62, p. 677–685, 2010.
- CAMINOS, A. et al. Modelado y simulación de la producción ganadera a corral. In: **VIII Congreso Argentino de Ingeniería Industrial**. [S.l.: s.n.], 2015. p. 1–12.

CANELLAS, L. C. **Modelagem e simulação para análise de sistemas de recria-terminação de bovinos de corte**. Tese (Doutorado) — Universidade Federal do Rio Grande do Sul. Faculdade de Agronomia. Programa de Pós-Graduação em Zootecnia., 2015. Disponível em: <http://hdl.handle.net/10183/133188>. Acesso em: 21 jul. 2021.

CHIACCHIO, F. et al. Agent-based modeling of the immune system: Netlogo, a promising framework. **BioMedresearchinternational**, Hindawi, 2014. Disponível em: <https://www.hindawi.com/journals/bmri/2014/907171/>. Acesso em: 15 ago 2022.

CORSON, N.; OLIVIER, D. Dynamical systems with netlogo. In: **Agent-Based Spatial Simulation with Netlogo**. [S.l.]: Elsevier, 2015. p. 183–221.

DEL-MASSO, M. C. S.; COTTA, M. A. d. C.; SANTOS, M. A. P. Ética em pesquisa científica: conceitos e finalidades. **RedeFor Educação Especial e Inclusiva, Texto II**. São Paulo: Unesp, p. 1–16, 2012. Disponível em: <http://acervodigital.unesp.br/handle/unesp/155306>. Acesso em: 11 set. 2021.

FIGUEIREDO, J. C. B. de. Modelo computacional para simulação de aplicação da teoria das restrições. **Revista Alcance**. Universidade do Vale do Itajaí. Bigaçu, v. 17, n. 2, p. 19–31, 2010. Disponível em: <https://periodicos.univali.br/index.php/ra/article/view/2126>. Acesso em: 14 out 2023.

FORRESTER, J. W. Industrial dynamics. **Journal of the Operational Research Society**, Taylor & Francis, v. 48, n. 10, p. 1037–1041, 1997.

GARCÍA, J. Theory and practical exercises of system dynamics: modeling and simulation with vensimple. **Preface John Sterman**, p. 25–96, 2020.

GRIGORYEV, I. Anylogic 7 in three days. **A quick course in simulation modeling** ISBN-13: 978-1508933748, v. 2, 2015. Disponível em: <https://www.anylogic.com/upload/al-in-3-days/anylogic-7-em-tres-dias.pdf>. Acesso em: 20 out 2023.

MAGNABOSCO, C. d. U. et al. Avaliação econômica de duas estratégias de recria de bovinos nelore utilizando pastagens renovadas em sistema de integração lavoura pecuária. **Embrapa Cerrados. Comunicado Técnico**, Planaltina, DF: Embrapa Cerrados., 2009.

MIGUEL, P. A. C. et al. **Metodologia de pesquisa em engenharia de produção e gestão de operações**. Elsevier, 2010. Disponível em: <https://repositorio.usp.br/item/001800911>. Acesso em: 05 out 2023.

NEUMANN, M.; ZUCHONELLI, C.; PRIEB, R. I. A cadeia produtiva da carne bovina: análise de formação de preços da carne bovina no rio grande do sul. **Jornada técnica em sistemas de produção de bovinos de corte e cadeia produtiva: tecnologia, gestão e mercado**, v. 1, 2006.

NICHOLSON, Charles F. et al. ASN-ASAS SYMPOSIUM: FUTURE OF DATA ANALYTICS IN NUTRITION: Modeling complex problems with system dynamics: applications in animal agriculture. **Journal of Animal Science**, v. 97, n. 5, p. 1903-1920, 2019.

OISHI, K. et al. Economic and environmental impacts of changes in culling parity of cows and diet composition in Japanese beef cow–calf production systems. **Agricultural Systems**, Elsevier, v. 115, p. 95–103, 2013.

ORIONTE, S. **Simulación de alternativas tecnológicas en sistemas de cría vacuna en el valle bonaerense del Río Colorado**. Tese (Doutorado) — Facultad de Ciencias Agrarias, Universidad Nacional de Mar del Plata, 2014.

PINI, T. et al. Aplicabilidade da simulação técnico-econômico na bovinocultura de corte de mato grosso do sul. **Archivos de zootecnia**, SciELO, v. 63, n. 241, p. 191–198, 2014.

RAILSBACK, S. F.; GRIMM, V. Agent-based and individual-based modeling: a practical introduction. [S.l.]: **Princeton university press**, ISBN 978-0-691-19082-2, 2019. v. 2.

RODRIGUEZ-ULLOA R., P.-C. A. Metodologia soft system dynamics (ssdm): Combinando soft systems methodology (ssm) e system dynamics (sd). **SystPractAct Res** 18, 2005. Disponível em: <https://link.springer.com/article/10.1007/s11213-005-4816-7#citeas>. Acesso em: 14 set 2023.

RUVIARO, C. F. et al. Economic and environmental feasibility of beef production in different feed management systems in the pampa biome, southern brazil. **Ecologicalindicators**, Elsevier, v. 60, p. 930–939, 2016.

SANTOS, L. D. d. et al. **Produção de madeira e conservação da Mata Atlântica: uma abordagem de dinâmica de sistemas**. Tese (Doutorado) — Programa de Pós-Graduação em Agroecossistemas. Universidade Federal de Santa Catarina, 2019. Disponível em: <https://repositorio.ufsc.br/handle/123456789/215426>. Acesso em: 30 ago 2022.

SANTOS, T.; TREVISAN, R. et al. Eucaliptos versus bioma pampa: compreendendo as diferenças entre lavouras de arbóreas eo campo nativo. **Lavouras de Destruição: a (im) posição do consenso**, Pelotas, RS, p. 299–332, 2009.

SARTORELLO, G. L.; BASTOS, J. P. S. T.; GAMEIRO, A. H. Development of a calculation model and production cost index for feedlot beef cattle. **Revista Brasileira de Zootecnia**, SciELO Brasil, v. 47, 2018.

SESSIM, A. G. **Idades de descarte da vaca: eficiência bioeconômica e resiliência do sistema de cria**. Tese (Doutorado) — Programa de Pós-Graduação em Zootecnia. Universidade Federal do Rio Grande do Sul, 2020. Disponível em: <http://hdl.handle.net/10183/232250>. Acesso em: 20 out 2022.

SIEBERS, P.-O. et al. Discrete-event simulation is dead, long live agent-based simulation! **Journal of Simulation**, Springer, v. 4, n. 3, p. 204–210, 2010.

SIMÕES, A. R. P. et al. Dynamic impacts of farm-level technology adoption on the brazilian dairy supply chain. *International Food and Agribusiness Management Review*, **Wageningen Academic Publishers**, v. 23, n. 1, p. 71–84, 2020.

STERMAN, John. **Business dynamics: Systems thinking and modeling for a complex world**. Irwin McGraw-Hill, New York, NY, USA (2000).

STERMAN, J. D. System dynamics modeling: tools for learning in a complex world. **California management review**, SAGE Publications Sage CA: Los Angeles, CA, v. 43, n. 4, p. 8–25, 2001.

TEDESCHI, L. O. **The prevailing mathematical modelling classifications and paradigms to support the advancement of sustainable animal production**. *animal*, Elsevier, p. 100813, 2023.

Teixeira, J. C. e Hespanhol, A. N. (2014). A trajetória da pecuária bovina brasileira. In **Caderno Prudentino de Geografia**. v. 1.

TISUE, S.; WILENSKY, U. Netlogo: A simple environment for modeling complexity. In: **CITeseer. International conference on complex systems**. [S.l.], 2004. v. 21, p. 16–21.

ZAGO, D. **Nutrição de vacas de corte prenhes e seus efeitos sobre o desempenho pré e pós-natal de suas progênes: uma metanálise**. Tese (Doutorado) — Programa de Pós-Graduação em Zootecnia. Universidade Federal do Rio Grande do Sul., 2017. Disponível em: <http://hdl.handle.net/10183/169282>. Acesso em: 24 out. 2023.

ZARD, L. et al. Mutual learning between researchers and farmers during implementation of scientific principles for sustainable development: the case of biodiversity-based agriculture. **Sustainability Science**, Springer, v. 13, n. 2, p. 517–530, 2018.