

UNIVERSIDADE FEDERAL DO RIO GRANDE DO SUL  
FACULDADE DE AGRONOMIA  
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM ZOOTECNIA

**SIMULAÇÃO DA SUSTENTABILIDADE ECONÔMICA E AMBIENTAL EM  
TRÊS SISTEMAS DE PRODUÇÃO DE BOVINOS DE CORTE DO RS**

CAROLINA HELLER PEREIRA  
Médica Veterinária - ULBRA  
Mestre em Ciências Veterinárias - UFRGS

Tese apresentada como um dos requisitos à obtenção do Grau de Doutor em  
Zootecnia.

Área de Concentração Produção Animal

Porto Alegre, Brasil  
Julho de 2015

### CIP - Catalogação na Publicação

Heller Pereira, Carolina  
Simulação da sustentabilidade econômica e ambiental  
em três sistemas de produção de bovinos de corte do  
RS / Carolina Heller Pereira. -- 2015.  
87 f.

Orientador: Harold Ospina Patino.

Tese (Doutorado) -- Universidade Federal do Rio  
Grande do Sul, Faculdade de Agronomia, Programa de  
Pós-Graduação em Zootecnia, Porto Alegre, BR-RS, 2015.

1. Simulação . 2. Pecuária de corte. 3. Pastagem  
natural. 4. Suplementação. 5. Soja. I. Ospina Patino,  
Harold, orient. II. Título.

CAROLINA HELLER PEREIRA  
Médica Veterinária e  
Mestre em Ciências Veterinária


**TESE**

Submetida como parte dos requisitos  
para obtenção do Grau de

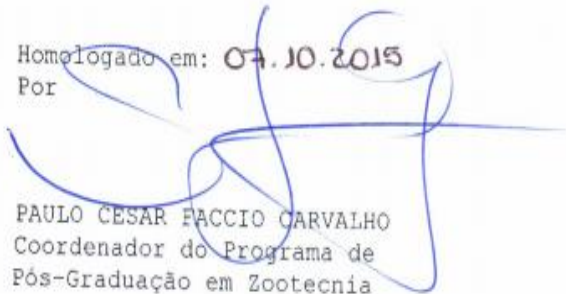
**DOUTOR EM ZOOTECNIA**


Programa de Pós-Graduação em Zootecnia  
Faculdade de Agronomia  
Universidade Federal do Rio Grande do Sul  
Porto Alegre (RS), Brasil


Aprovado em: 30.07.2015  
Pela Banca Examinadora

  
HAROLD OSPINA PATIÑO  
PPG Zootecnia/UFRGS  
Orientador


Homologado em: 07.10.2015  
Por


  
PAULO CESAR FACCIO CARVALHO  
Coordenador do Programa de  
Pós-Graduação em Zootecnia

  
CARLOS NABINGER  
PPG Zootecnia/UFRGS

  
FABIO SCHULER MEDEIROS  
Programa Carne Angus

  
DANIEL CARNEIRO DE ABREU  
ICAA/UFMT - Sinop-MT

  
AARON KINYU HOSHIDE  
University of Maine/EUA

  
PEDRO ALBERTO SELBACH  
Diretor da Faculdade de Agronomia

“Sobre tudo o que se deve guardar,  
guarda o coração, porque dele  
procedem as fontes de vida”.  
Mishlê/Provérbios 4.23

## **DEDICO**

*“Ao Eterno Criador de tudo e meu  
guia, e aos meus pais Natanael e  
Carmem por serem minha âncora,  
meu sustento e inspiração.”*

## AGRADECIMENTOS

Ao Eterno, pela vida maravilhosa que me concedeu e pelas pessoas que ele colocou ao meu redor.

Agradeço a toda minha família, em especial aos meus queridos pais, Natanael Pereira e Carmem M. Heller Pereira, pelo amor, pela educação, por todo o apoio concedido sempre e principalmente pelo grande exemplo de vida. À minha maninha Gabi pelo companheirismo e parceria ao longo de nossas vidas. Aos meus amados avós Kurt e Alice pelo grande exemplo de vida, pelo afeto e pelas suas orações para comigo. A minha avó Ester por todo amor, carinho e exemplo de força e fé. A todos meus familiares, família Heller Pereira, que acompanhou desde sempre meu crescimento, me dando estímulos sempre. Amo vocês demais!

Em especial, ao meu amado namorado Fredy, pela alegria de tê-lo conhecido, pelo seu amor, carinho, cuidado, por estar sempre ao meu lado e por todo auxílio em cada um dos degraus do doutorado. Também agradeço à minha sogra Marilce e a família Colombiana, que apesar estarem longe moram no meu coração. A todos meus amigos queridos que me acompanharam nesta longa caminhada rumo ao crescimento e conhecimento científico.

Agradeço ao meu orientador Harold Ospina, meu mestre e amigo, que me incentivou a crescer e me desenvolver pessoalmente, profissionalmente e cientificamente.

Agradeço a meus orientadores americanos, da cidade de Fargo, EUA, Dr. Kendall Swanson e Dra. Kimberly Vonnahme, por todo acolhimento e cuidado nos Estados Unidos, por todo conhecimento adquirido e pelo exemplo de excelentes pesquisadores.

Aos professores que fizeram e fazem a diferença, agregando conhecimentos teóricos e práticos Carlos Nabinger e José Fernando Piva Lobato. Em especial ao professor Nabinger, que num momento de grande necessidade, me auxiliou na organização de um novo rumo do meu projeto de doutorado. Também agradeço ao colega, Pablo Ataíde, orientado do professor Nabinger, ao proprietário da Estância Chalé, Sr. Ricardo de Lara que disponibilizou dados da Fazenda, e seu assessor técnico Jean Soares pelos dados disponibilizados.

Agradeço ao professor Júlio Barcelos por todo apoio concedido como coordenador do PPG Zootecnia durante os anos de meu doutorado.

Agradeço ao professor Daniel Carneiro de Abreu, da Universidade Federal do Mato Grosso, por ter me incentivado a adentrar na área de sustentabilidade de sistemas de produção. Agradeço também ao Dr. Aaron Hoshide, da Universidade de Maine, nos EUA, pois sem ele não seria possível “destrinchar” meu projeto de doutorado com o uso do software americano.

Agradeço a todos aqueles que auxiliaram na realização dos experimentos na Estação Experimental Agronômica (EEA) - UFRGS, ao Marcelo Nicola e ao professor Renato Levien.

A secretária Ione, por estar sempre disposta a responder dúvidas referentes à pós-graduação, por ser tão prestativa e competente.

Agradeço a CAPES pela bolsa de estudos no Brasil e a CNPQ, pela bolsa de doutorado sanduíche nos EUA.

## SIMULAÇÃO DA SUSTENTABILIDADE ECONÔMICA E AMBIENTAL EM TRÊS SISTEMAS DE PRODUÇÃO DE BOVINOS DE CORTE DO RS<sup>1</sup>

Autora: Carolina Heller Pereira

Orientador: Harold Ospina Patino

**Resumo** – Na produção agropecuária, os impactos ambientais relacionados com a produção de gases do efeito estufa (GEE), o uso da água, uso de energia e uso da terra são grandes preocupações globais. Pouca informação existe sobre a sustentabilidade ambiental e econômica dos sistemas de produção em pastagem natural do sul do Brasil. Objetivou-se com esta pesquisa avaliar através de simulações no modelo computacional biológico, *Integrated Farm System Model*, a produtividade animal, custos de produção e retorno financeiro, bem como pegada de carbono (PC), pegada de nitrogênio (PN), pegada da água e pegada de energia, de três sistemas de produção de bovinos de corte do Rio Grande do Sul (RS). As simulações foram realizadas utilizando dados reais de sistemas de produção que trabalham com bovinos de corte da raça Angus criados em pastagem natural (PN), com baixa suplementação (PNS), e PNS combinada com lavoura de soja (PNSI). A produtividade animal em kg/ha/ano foi 44% maior para os sistemas PNS e PNSI, quando comparado com PN. Mesmo que o custo de produção por hectare foi menor para PN (US \$ 78.14) em comparação a PNS (US\$ 99.98) e PNSI (US\$ 142.00), o PNS e PNSI obtiveram um rendimento líquido por hectare (US\$/ha), 70% e 220% maior, respectivamente, quando comparado com NP. Isto ocorreu em razão da maior produção de carne em consequência da suplementação com grão e também devido à diversificação com culturas rentáveis como a soja. A pegada de carbono (PC) (kg de equivalente CO<sub>2</sub>/kg de peso vivo ganho (PVG)) foi 48% e 37% menor ( $P < 0.0001$ ) em sistemas PNSI e PNS, respectivamente, quando comparado a PN. Além disto, a PC foi 18% menor em PNSI em comparação a PNS, provavelmente devido ao maior sequestro de GEE pela planta (soja) nas condições de solo e clima avaliados. No entanto, a maior contribuição para a redução da PC foi devido à suplementação. PNS apresentou menor ( $P < 0.0001$ ) pegada de nitrogênio em comparação a PN e PNSI. Pegada de nitrogênio (kg N/kg PVG), pegada de água (Mg H<sub>2</sub>O/kg PVG), pegada de energia (MJ/kg PVG) foram aumentadas ( $P < 0.0001$ ) no sistema PNSI em comparação a PNS e PN. A melhoria da eficiência produtiva, em consequência da suplementação reduziu a PC/kg de PVG e por hectare. No entanto, com a compra de fertilizantes para lavoura e grãos para alimentação animal, houve um aumento da pegada de água e pegada de energia. A suplementação em pastagem natural nos específicos cenários avaliados pode ser considerada uma prática de baixo impacto ambiental, que quando integrado com a soja, poderá trazer um maior retorno econômico para a atividade agropecuária.

**Palavras-chave** – pecuária, pastagem natural, soja, suplementação

<sup>1</sup> Tese de doutorado em Zootecnia – Produção animal, Faculdade de Agronomia, Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, RS, Brasil. 87 p. Julho, 2015.

## **SIMULATION OF THE ECONOMIC AND ENVIRONMENTAL SUSTAINABILITY ON THREE RS STATE BEFF PRODUCTION SYSTEMS<sup>1</sup>**

Author: Carolina Heller Pereira

Advisor: Harold Ospina Patino

**Abstract** – For agri-food products, environmental impacts related to greenhouse gas (GHG) emissions, water use, energy use and land use are all typically of high concern. However, little information exists about the environmental footprints and economics of beef production systems in southern Brazil. The objectives of this research were to evaluate the economics, carbon footprint (CF), nitrogen footprint, water footprint and energy footprint of beef production systems in Rio Grande do Sul (RS) using a software Integrated Farm System Model. These simulations were done with Angus beef cattle raised on natural pasture (NP), natural pasture with low supplementation (NPS), and natural pasture with low supplementation and soybean crop combination (NPSI). Net animal gain sold (kg)/ha/year increased 44% for NPS and NPSI when compared with NP. Even though NP production cost per hectare was lower (US\$ 78.14) than NPS (US\$ 99.98) and NPSI (US\$ 142.00), NPS and NPSI had net return per hectare (US\$/ha), 70% and 220% greater, respectively, when compared to NP due to higher beef productivity from feeding more grain and diversifying into profitable crop enterprises such as soybeans. Natural pasture with low supplementation level in NPSI and NPS decreased ( $P < 0.0001$ ) by 48% and 37% the CF (kg CO<sub>2</sub> equivalent /kg of body weight gain (BWG)) when compared with NP. Furthermore, CF was also 18% lower for NPSI compared with NPS, may due to greater sequestration of GHG by soybean plants in this specific scenario evaluated. However, the higher contribution in reducing GHG emissions was more due to supplementation. In the other hand, water footprint (Mg H<sub>2</sub>O/kg BWG), energy footprint (MJ/kg BWG) and nitrogen footprint (g N/kg BWG) were improved ( $P < 0.0001$ ) in NPSI when compared to NPS and NP. But, NPS had lower ( $P < 0.001$ ) nitrogen footprint, when compared to NP and NPSI. Improved productive efficiency with lower supplementation reduces the CF/kg of BWG and per hectare also. However, the increased inputs (fertilizer, grain fed) increase the water footprint and energy footprint in the production system. The low supplementation on natural pasture could be considering a low environmental impact practice, which could be integrated with soybean plant to have greater net return per hectare.

**Keywords** –livestock, supplementation, natural pasture, soybean.

<sup>1</sup>PhD thesis in Animal Science, Faculdade de Agronomia, Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, RS, Brazil. 87 p. Julho, 2015.

## SUMÁRIO

<b>CAPITULO I</b> .....	<b>13</b>
<b>1. INTRODUÇÃO</b> .....	<b>14</b>
1.1 HIPÓTESES.....	16
1.2 OBJETIVOS GERAIS.....	16
1.3 OBJETIVOS ESPECÍFICOS .....	16
<b>2. REVISÃO DE LITERATURA.....</b>	<b>16</b>
2.1 SUSTENTABILIDADE.....	16
2.2 GASES DO EFEITO ESTUFA .....	17
2.3 USO DA ÁGUA .....	18
2.4 USO DA ENERGIA .....	19
2.5 SISTEMAS DE PRODUÇÃO DA PECUÁRIA DE CORTE DO RS .....	20
2.6 SOFTWARE INTEGRATED FARM SYSTEM MODEL (IFSM) .....	22
2.6.1 ALGUNS RESULTADOS OBTIDOS PELO IFSM .....	23
2.7 RAZÕES DA ESCOLHA DAS SIMULAÇÕES AVALIADAS.....	23
<b>CAPÍTULO II</b> .....	<b>25</b>
<b>3. Economics and carbon footprint of three beef production systems in southern Brazil</b> .....	<b>25</b>
3.1 INTRODUCTION.....	27
3.2 MATERIAL AND METHODS .....	29
3.3 RESULTS.....	37
3.4 DISCUSSION.....	43
3.5 CONCLUSION .....	47
3.6 LITERATURE CITED .....	48
<b>CAPÍTULO III</b> .....	<b>52</b>
<b>4. Avaliação da sustentabilidade ambiental de três sistemas de produção de bovinos de corte no Rio Grande do Sul</b> .....	<b>52</b>
4.1 INTRODUÇÃO .....	54
4.2 MATERIAL E MÉTODOS .....	55
4.3 RESULTADOS .....	62
4.4 DISCUSSÃO .....	70
4.5 CONCLUSÃO.....	75
4.6 LITERATURA CITADA .....	75
<b>CAPÍTULO IV</b> .....	<b>80</b>
<b>5. CONSIDERAÇÕES FINAIS</b> .....	<b>81</b>
<b>6. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS</b> .....	<b>82</b>
<b>7. VITA</b> .....	<b>87</b>



## RELAÇÃO DE TABELAS

<b>CAPÍTULO II</b> .....	<b>25</b>
<b>TABLE 1:</b> Land area, growing period goals, forage to grain ration, level of supplementation, protein requirements fill for supplement, on three simulated production systems in Rio Grande do Sul State.....	<b>31</b>
<b>TABLE 2:</b> General economic cost, livestock expenses/year (US\$/head), commodity prices (US\$/ton dry mater - DM), cattle prices, economic life (years), salvage value (%), interest rate (%) and fertilizer prices (US\$/kg) for all three models.....	<b>33</b>
<b>TABLE 3:</b> Soil characteristics for cooperating farm, in RS state.....	<b>34</b>
<b>TABLE 4:</b> Sward species characteristics for cooperating farm, in RS state....	<b>34</b>
<b>TABLE 5:</b> Composition of pasture and feed type (crude protein (CP), degradable protein (DP), neutral detergent fiber (NDF) and total nutrient digestive (TDN)) of evaluated scenarios.....	<b>35</b>
<b>TABLE 6:</b> Concentrated feed consumed-CC (t DM/year) for natural pasture (NP) natural pasture with low supplementation (NPS) and NPS combined with soybeans (NPSI) .....	<b>38</b>
<b>TABLE 7:</b> Economic values (US\$/year) for farm revenue, livestock and crop costs, and net return for natural pasture (NP), natural pasture with low supplementation (NPS) and NPS with soybean-livestock integration systems (NPSI) for Rio Grande do Sul state.....	<b>39</b>
<b>TABLE 8:</b> Greenhouse gas emissions (GHG) in CO <sub>2</sub> equivalent (eq) and carbon footprint ± standard deviation of natural pasture (NP), natural pasture with low supplementation (NPS) and NPS with soybean-livestock integration systems over 25 years of weather evaluation.....	<b>40</b>
<b>CAPÍTULO III</b> .....	<b>52</b>
<b>TABELA 1:</b> Área de terra, períodos produtivos, relação forragem:grão, nível de suplementação e exigências de proteína dos suplementos e peso vivo no início e final do período de terminação utilizadas nas simulações de três sistemas de produção pecuária no RS.....	<b>58</b>
<b>TABELA 2:</b> Características do solo para todas simulações.....	<b>59</b>
<b>TABELA 3:</b> Características das espécies presentes na pastagem natural da fazenda avaliada no estado do RS.....	<b>60</b>
<b>TABELA 4:</b> Teor de proteína bruta (PB), proteína bruta degradável no rúmen (PBDR), fibra em detergente neutro (FDN) e nutrientes digestíveis totais (NDT)	

dos alimentos e da pastagem para as simulações avaliadas.....**60**

**TABELA 5:**Consumo de concentrado-CC (toneladas de MS/ano) para os cenários em pastagem natural (PN), pastagem natural com baixa suplementação (PNS) e PNS combinado com soja (PNSI) .....**62**

**TABELA 6:** Fluxo de nutrientes dos sistemas  $\pm$  desvio padrão nos cenários em pastagem natural (PN), pastagem natural suplementada (PNS) e PNS com soja (PNSI) ao longo de 25 anos de avaliação meteorológica.....**64**

**TABELA 7:**Emissões de gases do efeito estufa (GEE), perdas por nitrogênio, uso de energia, uso da água e pegadas ambientais  $\pm$  desvio padrão nas simulações avaliadas.....**69**

## RELAÇÃO DE FIGURAS

<b>CAPÍTULO I</b> .....	<b>13</b>
<b>FIGURA 1:</b> Resposta da produção em sistemas de recria e em pastagem no natural no RS sob níveis crescentes de intensificação: 1= manejo corrente; 2= ajuste da lotação (Oferta de forragem fixa); 3= ajuste da lotação (Oferta de forragem variável); 4= nível 2 + calcário, P e K; 5= idem anterior + nitrogênio; 6= idem anterior + introdução de espécies de inverno (Nabinger et al., 2012).....	<b>21</b>
<b>CAPÍTULO II</b> .....	<b>25</b>
<b>FIGURE 1:</b> Carbon footprint with biogenic CO <sub>2</sub> (kg/kg of BW) related to average daily gain (ADG), net animal gain sold (kg/ha/year) and net animal return per hectare (US\$/ha) for the natural pasture (NP), natural pasture with low supplementation (NPS) and NPS with soybean combined (NPSI).....	<b>42</b>
<b>CAPÍTULO III</b> .....	<b>52</b>
<b>FIGURA 1:</b> Pegada de carbono biogênico (kg CO <sub>2</sub> /kg PVG) ao longo de 25 anos em pastagem natural (PN), pastagem natural suplementada (PNS) e PNS com soja (PNSI); As simulações apresentaram diferença estatística (P<0.0001) na média dos 25 anos observados.....	<b>65</b>
<b>FIGURA 2:</b> Pegada de carbono biogênico (kg CO <sub>2</sub> /kg PVG) em relação a idade ao abate e compra de insumos (t/ano) pelas simulações em pastagem natural (PN), pastagem natural suplementada (PNS) e PNS com soja (PNSI).....	<b>65</b>
<b>FIGURA 3:</b> Componentes em kg/ha que contribuem para as perdas por nitrogênio, expresso em g N/kg PVG para as simulações em pastagem natural (PN), pastagem natural suplementada (PNS) e PNS com soja (PNSI).....	<b>67</b>
<b>FIGURA 4:</b> Pegada de água (Mg/kg PVG) e da energia (MJ/kg PVG) em relação aos kg de insumos comprados (T/ha) nos sistemas de produção em pastagem natural (PN), pastagem natural com baixa suplementação (PNS) e PNS com integração com soja (PNSI).....	<b>68</b>

## LISTA DE ABREVIATURAS E SÍMBOLOS

<b>AU</b>	Animal units
<b>ADG</b>	Averagedailygain
<b>BWG</b>	Body weight gain
<b>CF</b>	Carbonfootprint
<b>C</b>	Carbono
<b>CC</b>	Concentrated feed consumed
<b>CP</b>	Crudeprotein
<b>DM</b>	Dry matter
<b>eq</b>	Equivalent
<b>FDN</b>	Fibra em detergente neutro
<b>P</b>	Fósforo
<b>GEE</b>	Gases do efeito estufa
<b>GWP</b>	Global warming potential
<b>GHG</b>	Greenhouse gas
<b>ha</b>	Hectare
<b>IFSM</b>	IntegratedFarm System Model
<b>LCA</b>	Life Cycle Assessment
<b>CH<sub>4</sub></b>	Metano
<b>NP</b>	Natural pasture
<b>NPS</b>	Natural pasture with low supplementation
<b>NPSI</b>	Natural pasture with low supplementation combined to soybean
<b>NDF</b>	Neutral detergentfiber
<b>N</b>	Nitrogênio
<b>NDT</b>	Nutrientes digestíveis totais
<b>PN</b>	Pastagem natural
<b>PNS</b>	Pastagem natural com baixa suplementação
<b>PC</b>	Pegada de carbono
<b>PVG</b>	Pesovivo ganho
<b>PNSI</b>	PNS com soja
<b>K</b>	Potássio
<b>PBDR</b>	Proteína bruta degradável no rúmen
<b>RS</b>	Rio Grande do Sul
<b>DP</b>	Rumendegradablecrudeprotein

## **CAPITULO I**

## 1. INTRODUÇÃO

O Brasil, atualmente, é citado como um dos principais países emergentes e dentro dessa conjuntura favorável, as exportações das commodities agropecuárias cresceram, anualmente, favorecendo o superávit primário da balança comercial. No entanto, existem barreiras a serem vencidas, o empresário rural (produtor) necessita ser competitivo. Com isso, é fundamental que a empresa seja lucrativa e rentável, pois sem geração de renda se torna inviável a sustentabilidade econômica e social do agronegócio. A competitividade nos diferentes setores econômicos, inclusive na cadeia produtiva da carne bovina refere-se à capacidade de uma empresa, seja esta rural ou urbana, de formular e implementar estratégias de concorrência, que lhe permitam ampliar ou conservar, de forma duradoura, uma posição sustentável no mercado.

Esta competitividade será necessária pois a demanda por alimentos de origem animal deverá aumentar em 70% até 2050, impulsionado pelo crescimento da população, urbanização e aumento da renda. Espera-se que 90% da expansão seja através de intensificação da produção, ou seja, o aumento da produção por unidade de área, e 10% será por expansão de área, principalmente na África Sub-saariana e América Latina (FAO, 2010). Os resultados serão uma competição por terra, água e energia que poderá gerar profundos impactos ao meio ambiente e segurança alimentar. Assim, é imperativo investir na "intensificação sustentável" da agropecuária, ou seja, produzir mais alimentos sem excessos de uso da água, insumos, terra e recursos biológicos.

Esta necessidade por intensificação dos sistemas de produção agropecuários, também gerou uma preocupação global que têm crescido nas últimas décadas (IPCC, 2013) sobre as mudanças climáticas e sobre os gases de efeito estufa (GEE). Diante disto, o Brasil na COP15 (2009) assinou um acordo para reduzir as emissões GEE em 36.1- 38.9% até 2020, sendo o setor agropecuário responsável por 14,5% das emissões globais de GEE (Gerber et al., 2013). Portanto, o Brasil e o mundo têm grandes desafios para reduzir as emissões de GEE (CO<sub>2</sub>, CH<sub>4</sub> e N<sub>2</sub>O) permanecendo economicamente competitivos. No entanto, é necessário uma avaliação holística de todos componentes importantes para se obter a sustentabilidade ambiental, como o melhor uso da água, da energia e da terra. Evitando, assim, inferências somente baseadas na produção de GEE.

Levando em conta que no Brasil aproximadamente 70% das emissões de CH<sub>4</sub> são derivadas da produção de bovinos de corte (MCT, 2010), a bovinocultura brasileira também tem responsabilidade na redução dos GEE e produzir alimentos sem excessos de uso de água, energia e insumos, pois apresenta o segundo maior rebanho de carne bovina do mundo, com mais de 200 milhões de animais de acordo com o Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística (IBGE, 2013). O sistema de produção do Brasil é caracterizado por utilizar uma pecuária extensiva a pasto que é geralmente marginal quando comparados com as terras de grande fertilidade utilizadas para a produção de grãos e culturas de alto valor industrial que tem alto uso de insumos. Estas áreas marginais da pecuária geralmente têm problemas associados com a

fertilidade natural, acidez, topografia e limitações de drenagem, que por muitas vezes geram índices de baixa produtividade no sistema.

O estado Rio Grande do sul (RS), no sul do Brasil, também apresenta a mesma situação em relação ao uso da terra, onde a agricultura também está sendo introduzida nos melhores campos, ficando a pecuária em muitos casos nas áreas marginais. O RS é caracterizado por apresentar um clima subtropical, onde os bovinos de corte são produzidos e terminados principalmente em pastagens naturais ou melhoradas de grande biodiversidade, com um rebanho de aproximadamente 14 milhões de cabeças de gado (IBGE, 2013) em 11,7 milhões de hectares, que representam 53,7% da área total deste estado. A pastagem natural do RS apresenta maior produtividade e qualidade na primavera-verão em comparação do outono-inverno. Devido a isto, no inverno tem sido introduzido ao campo nativo pastagens cultivadas (*Lolium multiflorum* Lam. *Trifolium repens* L. e *Lotus corniculatus* L) e/ou suplementação em pastagem, com a função de redução da idade de abate de novilhos e redução da idade ao primeiro acasalamento de novilhas. Somando-se a isso, a produção de soja com a integração com a pecuária, atualmente foram introduzidos no sistema de produção do RS, devido à possibilidade de se obter mais lucro por hectare/ano.

Entretanto, o manejo incorreto do campo nativo em conjunto com a extensa introdução da agricultura poderá acarretar perdas na biodiversidade e sustentabilidade dos sistemas de produção do RS. Isto é de suma importância, pois a manutenção do produtor rural na atividade agropecuária está relacionada com a capacidade de produzir com sustentabilidade técnica, econômica, ambiental e social.

Diante disto, há grandes desafios aos estudos científicos sobre sustentabilidade, principalmente devido às limitações metodológicas de métricas de como mensurar a sustentabilidade que envolve a parte ambiental, social e econômica. Dentro deste estado da arte conflitante, pesquisadores recomendam a utilização de modelos computacionais biológicos para avaliar sustentabilidade em sistemas agropecuários. Porém, a maioria dos modelos concentra-se na análise particular de um alguns aspectos, como por exemplo, biodiversidade, uso da terra, propriedade do solo ou emissão de gases, sem considerar a parte econômica integrada na produção animal e suas respectivas fases (cria, cria e engorda), diferenças entre sistemas de produção (intensivo e extensivo) e a pasto ou confinamento. Dentre os modelos computacionais, somente o software *Integrated Farm System Model* (IFSM) proposto por (Rotz *et al.*, 2014) contempla avaliação técnica, econômica e ambiental considerando pecuária e lavoura em sistemas integrados.

Devido a isso, o objetivo desta pesquisa é avaliar a sustentabilidade econômica e ambiental através de simulações no modelo computacional biológico, *Integrated Farm System Model* (IFSM 4.2; Rotz *et al.*, 2014), três sistemas de produção de bovinos de corte do Rio Grande do Sul criados em pastagem natural (PN), com baixo nível de suplementação (PNS), e PNS combinado com lavoura de soja.

## 1.1 HIPÓTESES

Sistemas de produção bovinos em pastagem natural apresentarão menor pegada de carbono, pegada de nitrogênio, água e energia em comparação a sistemas combinados com soja ou com suplementação em pastagem. Entretanto, a integração com a soja irá gerar um maior retorno econômico para a atividade, por ser uma commodity de alto valor, quando comparada às demais simulações.

A soja em conjunto com a pecuária em pastagem natural irá gerar maior pegada de carbono, pegada de nitrogênio, água e energia em comparação aos demais sistemas.

## 1.2 OBJETIVOS GERAIS

Avaliar a sustentabilidade ambiental e econômica de sistemas de produção do Rio Grande do Sul utilizando o modelo computacional biológico IFSM (versão 4.2).

## 1.3 OBJETIVOS ESPECÍFICOS

Definir qual sistema de produção de bovinos de corte do RS gera maior produtividade animal (kg/ha/ano), menor custo de produção (R\$) e maior retorno econômico (R\$) da atividade (receita bruta e receita líquida).

Definir qual sistema de produção de bovinos de corte do RS gera menores pegadas ambientais (pegada de carbono, pegada de nitrogênio, água e energia).

## 2. REVISÃO DE LITERATURA

### 2.1 Sustentabilidade

O termo "sustentável" provém do latim sustentare (sustentar; defender; favorecer, apoiar; conservar, cuidar). O conceito moderno de sustentabilidade começou a ser delineado na Conferência das Nações Unidas sobre o Meio Ambiente, realizada em Estocolmo em 1972. Foi a primeira oportunidade em que a ONU patrocinou uma reunião para discutir o impacto das atividades humanas sobre o meio ambiente.

A definição exata do termo sustentabilidade veio a surgir em 1987, no relatório de Brundtland, preparado a pedido da Organização das Nações Unidas. Neste documento o desenvolvimento sustentável foi concebido como: "o desenvolvimento que satisfaz as necessidades presentes, sem comprometer a capacidade das gerações futuras de suprir suas próprias necessidades".

No ano de 1992 ocorreu a Conferência sobre Meio Ambiente e Desenvolvimento (RIO-92 / ECO-92), onde foi adotado oficialmente o conceito de desenvolvimento sustentável, elaborado pela Comissão de Brundtland em 1987. Nesta conferência também foi elaborada a agenda 21, que consta de um programa de ações que visam a sustentabilidade global do século XXI. No ano



de 2002 em Joanesburgo, a cúpula da terra sobre o desenvolvimento sustentável, reafirmou os compromissos da agenda 21, mas propondo uma maior integração dos componentes ambientais, sociais e econômicos que compõem a sustentabilidade.

Sabendo que a sustentabilidade envolve o tripé econômico, ambiental e social, a presente revisão irá focar em alguns aspectos relacionados com a sustentabilidade ambiental dos sistemas agropecuários bem como aspectos produtivos e econômicos.

## 2.2 Gases do efeito estufa

O aumento da concentração de gases de efeito estufa (GEE) como o gás carbônico ( $\text{CO}_2$ ), metano ( $\text{CH}_4$ ) e óxido nitroso ( $\text{N}_2\text{O}$ ), devido a atividades antropogênicas, está fazendo com que a temperatura global do planeta se eleve pela maior retenção do calor proporcionada pelos mesmos. Esses gases, juntamente com o vapor d'água, permitem que a radiação solar, principalmente na forma de luz visível, atinja a superfície do planeta, porém bloqueiam parcialmente a radiação infravermelha que é emitida da superfície para a atmosfera, provocando um efeito estufa (IPCC, 2007).

O *Intergovernmental Panel on Climate Change* (IPCC, 2007), no ano de 2007 relatou o acréscimo das médias de temperaturas entre os anos de 1906-2005 de  $0,6^\circ\text{C}$  a  $0,9^\circ\text{C}$ , alertando para mudanças climáticas que estão ocorrendo. Este aumento de temperatura está em todo planeta causando, o derretimento das geleiras, aumento dos níveis dos mares e maiores atividades ciclônicas.

Na agropecuária o metano ( $\text{CH}_4$ ), dióxido de carbono ( $\text{CO}_2$ ) e óxido nitroso ( $\text{N}_2\text{O}$ ) são os gases que mais contribuem para o efeito estufa. O setor agropecuário contribui com 13,5% das emissões globais dos GEE (IPCC, 2007), enquanto a bovinicultura contribui em 18% para as emissões globais de GEE (Steinfeld et al., 2006).

Neste contexto, o  $\text{CO}_2$  é considerado o GEE antrópico mais importante, devido a isto, para calcular a potencialidade de aquecimento global do  $\text{N}_2\text{O}$  e  $\text{CH}_4$ , os mesmos são transformados em equivalentes  $\text{CO}_2$ . Noventa por cento das emissões de  $\text{N}_2\text{O}$  são derivadas das agricultura (Smith et al., 2007). Estas tem o potencial de aquecimento de 310 kg de equivalente  $\text{CO}_2/\text{kg}$  de  $\text{N}_2\text{O}$ . Já o  $\text{CH}_4$ , apresenta um potencial de aquecimento global estimado em 23 kg de equivalente  $\text{CO}_2/\text{kg}$  de  $\text{CH}_4$  (Ramaswamy et al., 2001).

Nos últimos 300 anos a concentração de  $\text{CH}_4$  na atmosfera aumentou em duas vezes e meia, sendo resultado da fermentação anaeróbica da matéria orgânica em ambientes alagados, campos de arroz cultivado por irrigação de inundação, fermentação entérica, tratamento anaeróbico de resíduos animais e queima de biomassa (florestas, resíduos agrícolas, etc) (Lassey, 2007). Segundo com Crutzen (1995), grandes quantidades de  $\text{CH}_4$  são provenientes de aterros sanitários, produção de combustíveis fósseis e vazamentos de gás natural.

Ruminantes produzem anualmente em torno de 80 milhões de toneladas de  $\text{CH}_4$  (80 Tg), que representam cerca de 30% das emissões antropogênicas globais do gás mencionado (Lassey, 2007). Para os sistemas

de produção a pasto são atribuídos mais de 50% (44 Tg / ano) das emissões anuais (Clark et al, 2005). As emissões CH<sub>4</sub> em sistemas de pastagem podem ser provenientes da fermentação entérica e deposição de fezes e urina no campo (De Klein et al., 2008).

O N<sub>2</sub>O é produto da utilização de fertilizantes nitrogenados, da fixação biológica de nitrogênio, da mineralização da matéria orgânica adicionada, da adição ou depósito de dejetos animais nos solos, da lixiviação de solos e da queima de resíduos agrícolas. Nos solos, as emissões de N<sub>2</sub>O ocorrem como consequência do processo microbiológico de desnitrificação e nitrificação. A desnitrificação é o processo pelo qual o nitrato (NO<sub>3</sub><sup>-</sup>) e o nitrito (NO<sub>2</sub><sup>-</sup>) são reduzidos para formarem compostos como o óxido nítrico (NO), óxido nitroso (N<sub>2</sub>O) e nitrogênio (N<sub>2</sub>). Na nitrificação os microrganismos oxidantes do amônio utilizam o nitrito (NO<sub>2</sub><sup>-</sup>) comoceptor final de elétrons, minimizando assim a acumulação intracelular de níveis tóxicos de nitrito (Heiche e Helsel, 1987). O uso de plantas leguminosas, é uma forma de aumentar a absorção de N na planta e diminuir o acúmulo de NO<sub>3</sub><sup>-</sup> e, assim, reduzir a produção de N<sub>2</sub>O através de desnitrificação, podendo diminuir as emissões de GEE.

### 2.3 Uso da água

Existe uma crescente tensão sobre a produção de bovinos de corte e água disponível (Mekonnen e Hoekstra, 2012; Ridouttet al., 2012). Atualmente o setor agropecuário contribui para 85% do consumo global de água (Shiklomanov, 2000; Hoekstra and Chapagain, 2007).

O conceito de "pegada de água" foi introduzido por Hoekstra (2003) e, posteriormente, elaborado por Hoekstra e Chapagain (2008). A pegada de água de um produto é definida como o volume total de água que é utilizado para produzir um tipo de produto (Hoekstra et al., 2009). Existem três tipos de pegada de água que podem ser consideradas: azul, verde e cinza. A pegada de água azul refere-se ao consumo de água da camada superficial e subterrâneas do solo; a pegada hídrica verde refere-se à água da chuva consumida; e a pegada de água cinza refere-se ao volume de água que é necessário para assimilar a carga de poluentes com base em padrões de qualidade da água ambientais existentes.

Segundo Mekonnen e Hoekstra (2010), a produção animal global requer cerca de 2422 Gm<sup>3</sup> de água por ano e isto equivale a 87,2% de água verde, 6,2% de azul e 6,6% de água cinza. Um terço desse volume é utilizado para os bovinos de corte e outros 19% para o setor de gado leiteiro. A pegada de água referente aos alimentos que são oferecidos para os animais representam em torno de 98% do volume total de uso. Já o consumo de água pelo animal, serviços que envolvem o uso de água e para a mistura de alimentos, representam 1,1%, 0,8% e 0,03%, respectivamente.

Segundo Chapagain e Hoekstra (2003), a pegada hídrica das atividades pecuárias varia muito entre países, sistemas de produção e distribuição geográfica. Por isto, é possível encontrar valores de pegada hídrica de 564 e 1,083 L H<sub>2</sub>O /kg PVG para operações de cria e confinamento nos EUA (Rotzet et al., 2015) e valores de 41.4 e 46.6 L H<sub>2</sub>O /kg PVG em sistema de

produção australiano (Ridoutt et al., 2012). Segundo Mekonnen e Hoekstra (2010) sistemas de produção de bovinos de corte com o uso de pastagem, apresentam comumente uma menor pegada hídrica em comparação aos sistemas de produção que necessitam de um maior uso de grãos na dieta, pois a pegada de água aumenta conforme o aumento de uso de concentrado na dieta (maior uso de água para produzir o alimento).

Embora os sistemas tradicionais de manejo de pastagem tenham um papel fundamental, a maioria dos incrementos a nível mundial para o aumento da produção de carne e leite foi através da inserção de um sistema industrial de produção, e grande parte deste, com o uso de grãos na dieta (Bouwman et al., 2005). Neste momento, em muitos países aumenta-se a dependência para a alimentação a base de grãos ao invés do uso de sistemas a pasto. Sistemas intensivos de produção animal, no qual os animais são criados em confinamento, representam 74% da produção de aves, 40% da produção de suínos e mais de dois terços da produção de ovos (Seré and Steinfeld, 1996). Se a necessidade por grãos para o consumo animal continuar a crescer, poderá trazer implicações negativas para as fontes de água, bem como o uso da terra.

## **2.4 Uso da energia**

A energia é a força vital da tecnologia e do desenvolvimento. No entanto, nenhuma energia de fonte primária, seja renovável ou não renovável, é livre das consequências econômicas e ambientais (Chow et al., 2003).

O consumo global de energia pode ser classificado em cinco grandes setores: indústria, transporte, agricultura, comércio/públicos serviços e residencial. A agricultura (pastagens e lavouras) é uma grande produtora de energia através da fotossíntese das plantas. Energia solar então, domina o balanço de energia para a produção de alimentos.

Segundo o World Bank (2007) o uso de energia pelo setor agropecuário representa somente 2-5% de toda energia comercial utilizada. O uso de máquinas agrícolas, irrigação, fertilizantes e defensivos agrícolas equivalem a apenas 3,9% do uso da energia comercial. Destes, 70% está associada com a produção e utilização de fertilizantes químicos (Vlek et al., 2004).

Os primeiros estudos sobre energética na produção mundial de alimentos (Pimentel et al., 1973) sugeriram que a energia pode ser considerada como uma restrição em sistemas agropecuários, devido a vulneráveis mudanças na disponibilidade, uso e preços dos insumos energéticos. A agricultura e pecuária moderna são fortemente dependentes de fontes de energia não renováveis, especialmente petróleo. O uso continuado destas fontes de energia não pode ser sustentado indefinidamente, mas abandonar abruptamente o uso destas fontes seria economicamente catastrófico. No entanto, um corte repentino no fornecimento deste recurso de energia seria igualmente catastrófico. Em sistemas agropecuários sustentáveis, existe dependência reduzida de fontes de energia não renováveis e uma substituição

destas fontes renováveis na medida em que seja viável economicamente para o sistema de produção.

## **2.5 Sistemas de produção da pecuária de corte do RS**

O sistema de produção de bovinos de corte é constituído por um conjunto coordenado de etapas inter-relacionadas que tem como objetivo final a produção de carne. Um sistema de produção deve possuir na sua configuração, aspectos relacionados com o meio-ambiente, capital, recursos humanos, aspectos sociais da região, perfil do empresário, mercado, tecnologia de produção e a logística. Só a visão integrada de todos esses fatores permitirá a implantação e desenvolvimento de um sistema de produção de forma sustentável e lucrativa.

O sistema de produção do RS é baseado em pastagens naturais ou naturais melhoradas, que fazem parte do bioma pampa, um dos seis biomas do Brasil. No bioma pampa do RS, existem produtores de pecuária extensiva com idade de primeiro entoure de 36 meses, baixas taxas de desmane e índices de desfrute de 21%. Em média, a produtividade por unidade de área é baixa no estado, não conseguindo superar a marca dos 60 – 70 kg de peso vivo/ha/ano (Miguel et al., 2007).

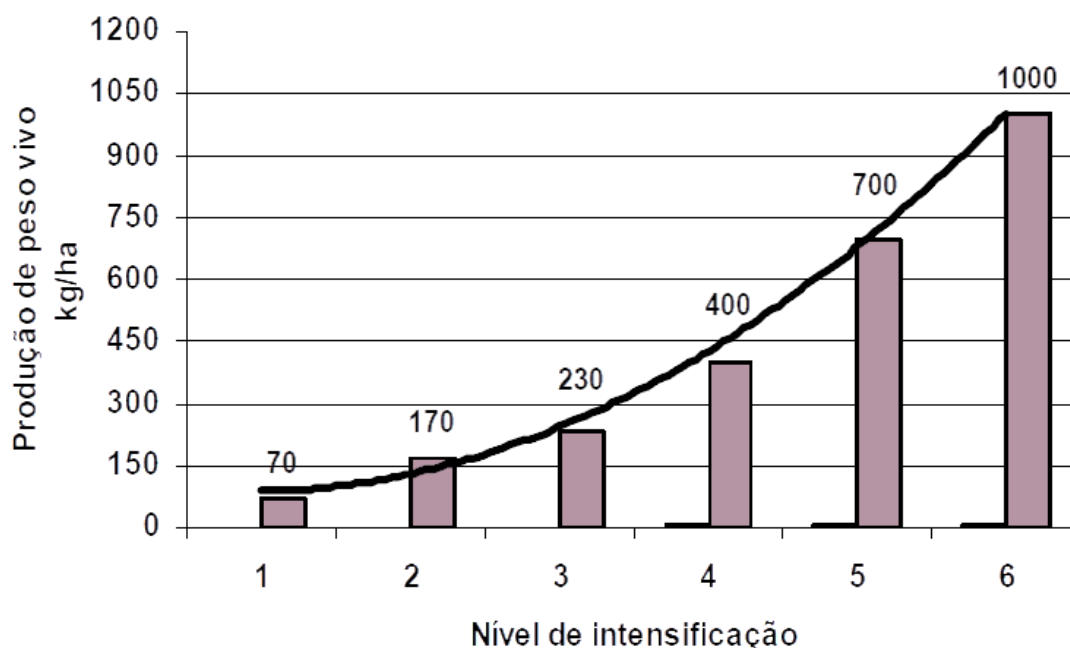
Entretanto também existem aqueles produtores que trabalham com tecnologia, seja de processos ou insumos, atingindo índices produtivos e reprodutivos muito favoráveis (Rosado Júnior & Lobato, 2010). Também, levando em conta a necessidade de um maior retorno econômico da atividade, muitos produtores têm trabalhado com a integração com soja no verão e pastagem de inverno.

Segundo Carvalho et al. (2011) estes sistemas de integração lavoura-pecuária hoje são reconhecidos por reunir conceitos de sistemas e arranjos produtivos capazes de conferir maior estabilidade e sustentabilidade aos negócios agropecuários, em comparação as monoculturas intensivas, que são pouco sustentáveis, afetam negativamente a biodiversidade e promovem a fragmentação do habitat. Os sistemas integrados permitem maior diversidade nas rotações de culturas, melhor reciclagem de nutriente e maior eficiência no uso da energia. Assim, em sistemas de integração entre culturas agrícolas e pastagens, por exemplo, podem ser atingidos níveis elevados de produtividade em atendimento às novas exigências sócio-ambientais.

Além disto, pesquisas demonstram que é possível obter bons resultados de produtividade no bioma pampa. Quadros & Lobato (1997) ao estudarem os efeitos de cargas animais de 320 kg/ha e 240 kg/ha sobre o desempenho reprodutivo de vacas primíparas e desenvolvimento de seus terneiros, desde um período curto antes do parto até a desmama, obtiveram 86.8 e 96.8 % de repetição de prenhes, respectivamente. Uma menor carga animal permitiu um maior acúmulo de matéria seca residual, e em consequência disto, um melhor desempenho individual do animal.

Nabinger et al. (2012) sintetizaram, na Figura 1, resultados de vários experimentos com pastagem natural ao longo de muitos anos, demonstrando o efeito de níveis crescentes de intensificação: 1= manejo

corrente; 2= ajuste da lotação (Oferta de forragem fixa); 3= ajuste da lotação (Oferta de forragem variável); 4= nível 2 + calcário, fósforo (P) e potássio (K); 5= idem anterior + nitrogênio (N); 6= idem anterior + introdução de espécies de inverno. De acordo com a figura 1, até o terceiro nível de intensificação não existe qualquer tipo de desembolso adicional e é possível triplicar a produção de peso vivo/ha/ano. A passagem para o nível 4, apesar da utilização de insumos fertilizantes e, conseqüentemente, desembolso, representa a oportunidade de elevação da capacidade de suporte dos campos, fato a ser considerado não apenas na resposta financeira imediata mas, principalmente, numa visão sistêmica da construção da fertilidade do solo no longo-prazo. O nível 5 implica na utilização de um insumo já polêmico em termos de sustentabilidade ambiental, o N. Mesmo assim, as pastagens do bioma dos campos sulinos estão em sua maioria muito distantes de seu potencial de resposta à adubação nitrogenada. O nível 6, com a introdução das espécies hibernais, agrava ainda mais o problema do distanciamento entre o que se pode produzir e aquilo que efetivamente se produz na pecuária de corte no bioma pampa.



**FIGURA 1.** Resposta da produção em sistemas de recria e em pastagem no natural no RS sobníveis crescentes de intensificação: 1= manejo corrente; 2= ajuste da lotação (Oferta de forragem fixa); 3= ajuste da lotação e manipulação da estrutura do pasto (Oferta de forragem variável); 4= nível 2 + calcário, P e K; 5= idem anterior + nitrogênio; 6= idem anterior + introdução de espécies de inverno (Nabinger et al., 2012).

Além destes possíveis manejos do campo nativo, também temos outra tecnologia de insumos que tem possibilitado a diminuição da idade ao abate e ao entoure, que é a suplementação energética e/ ou proteica a pasto. A suplementação consiste, portanto, no fornecimento estratégico de nutrientes

com o objetivo de otimizar a digestão e o metabolismo dos nutrientes contidos nas pastagens consumidas pelos ruminantes. Os principais efeitos da suplementação ocorrem sobre o consumo e a digestibilidade da forragem, como resultado de alterações no ambiente ruminal e na população microbiana, os quais afetam os fatores determinantes da digestão ruminal, o fluxo da digesta para fora do rúmen e a disponibilidade de nutrientes para absorção no intestino.

Esta suplementação (proteica ou energética) a pasto tem sido utilizada estrategicamente para corrigir as deficiências da forragem consumida, melhorando o desempenho produtivo e reprodutivo (Ospina et al., 2003; Mollo et al., 2007; Lopes et al., 2009; Pilau e Lobato, 2009; Medeiros et al., 2010). Além disso, permitindo um aumento na carga animal por área quando ocorreu efeito de substituição de forragem por concentrado.

Pilau e Lobato (2009) avaliaram a suplementação energética (0.7% do peso vivo em milho) no pré-acasalamento de novilhas de corte aos 13/15 meses de idade e verificaram que a suplementação energética por 48 dias pré-acasalamento proporcionou maior taxa de prenhez nesta categoria, em comparação com novilhas somente em pastagem. Também Lopes et al. (2009) ao adicionar uma fonte energética de ácidos graxos protegidos da degradação ruminal à suplementação mineral proteica de receptoras de embriões mestiças (n= 435), do final do protocolo de sincronização até 21 dias após a transferência dos embriões, observaram acréscimo na taxa de concepção de 11,9%, em relação ao grupo controle.

No entanto, apesar das vantagens da suplementação, segundo Canellas et al. (2010) a participação do campo nativo deve sempre ser a maior possível, pois diminui a necessidade de desembolso com suplementos. Por outro lado, a suplementação serve de auxílio para atingir determinados objetivos dentro do sistema de produção. Contudo, a utilização de concentrados na suplementação da dieta de bovinos concorre com outras áreas de produção animal, como a cadeia produtiva de aves e suínos. Esse fato pode tornar antieconômica a utilização de alguns suplementos, devido a sua concorrência dentro do setor em determinadas épocas.

Com estes resultados de pesquisa, pode-se observar que o RS apresenta uma grande variedade e diversidade, o que faz do estado, um grande potencial para produção de alimentos com o aumento da produtividade. Quando aliados a corretas práticas de manejo, farão deste sistema de produção resiliente durante os anos, e sustentável.

## **2.6 Software Integrated Farm System Model (IFSM)**

O modelo do IFSM atual é o produto de mais de 25 anos de pesquisas em trabalhos de modelagem realizadas através do serviço de pesquisa agropecuária dos Estados Unidos, *United States Department of Agriculture* (USDA). O IFSM é uma ferramenta de pesquisa usada para avaliar e comparar a sustentabilidade ambiental e econômica de sistemas de produção agropecuários simulados durante 25 anos de avaliação meteorológica. Este software e informações adicionais sobre o modelo estão disponíveis através da internet (Rotzet al., 2014).

### 2.6.1 Alguns resultados obtidos pelo IFSM

As versões mais atualizadas do IFSM, versões 3.6 e 4.1, têm sido utilizadas em vários trabalhos de pesquisas em bovinos de corte (Rotz et al., 2005; Corson, Rotz e Skinner, 2007; Corson, Rotz, Skinner, et al., 2007; Crosson et al., 2007; Stackhouse-Lawson et al., 2012; Stackhouse et al., 2012; Rotz et al., 2013; Rotz et al., 2015).

Corson, Rotz, Skinner, et al. (2007) avaliaram como o modelo do IFSMestima o desempenho, crescimento e qualidade nutricional de várias espécies de pastagens de clima temperado *orchardgrass* (*Dactylisglomerata* L.), *whiteclover* (*Trifoliumrepens* L.), and*chicory* (*Cichoriumintybus* L.), na Pensilvânia, EUA. Os valores simulados pelo IFSM para acúmulo de forragem anual em 2 e 3 espécies de pastagens estavam dentro de  $\pm 18\%$  dos valores reais observados. Previsões de composição botânica tenderam a permanecer dentro de  $\pm 15\%$  dos valores observados por espécie. Previsões de proteína bruta e fibra do detergente neutro em todo o pasto tenderam a permanecer dentro de  $\pm 22\%$  e  $\pm 15\%$ , respectivamente. Diante disto, os autores concluíram que devido ao rigor utilizado e exigido pelo IFSM, o grau de precisão deste submodelo de pastagem é aceitável para alcançar o objetivo principal do IFSM de comparar os efeitos de diferentes cenários sobre a produtividade de forragem e rentabilidade a longo prazo, bem como o impacto ambiental das explorações agropecuárias.

Em outro trabalho Corson, Rotz e Skinner (2007) também avaliaram como o IFSM simula o crescimento e qualidade nutricional de monocultura da espécie C4 switchgrass (*Panicumvirgatum*) na Pensilvânia, USA. Para 10 de 13 dados de coleta simulados, os valores simulados pelo IFSM como o acúmulo de forragem anual ficaram dentro de  $\pm 32\%$  dos valores observados a campo. O modelo previu a proteína bruta em  $\pm 25\%$ , fibra em detergente neutro em  $\pm 12\%$ , e digestibilidade in vitro em  $\pm 16\%$ . Os autores concluíram que refinando o modelo para uma melhor estimativa da produção de forragem anual poderá auxiliar para que o software possa avaliar de forma mais precisa os sistemas de produção que usam espécies C4.

No centro de pesquisa de produção de carne bovina, no Clay Center Nebraska, Rotz et al. (2013) compararam alguns dos resultados reais do centro de pesquisa com os resultados simulados do IFSM e observou que para o ano avaliado (2011), o software foi capaz de simular dentro de uma margem de  $\pm 1\%$  a produção e uso dos alimentos pelos animais, uso de energia e os custos de produção. Em outra simulação, Stackhouse-Lawson et al. (2012) avaliaram as emissões de GEE e de NH<sub>3</sub> de sistemas representativos de produção de carne na Califórnia, EUA. Os autores observaram que as emissões previstas pelo IFSM foram semelhantes as emissões medidas em câmaras de respiração de acordo com o peso vivo e raça.

Entretanto, este software nunca foi utilizado para avaliar a sustentabilidade econômica e ambiental dos sistemas de produção de bovinos de corte em pastagem natural no sul do Brasil.

### 2.7 Razões da escolha das simulações avaliadas

Primeiramente foi realizada a tentativa de simular no IFSM cinco

sistemas de produção de bovinos de corte de ciclo completo do RS: em pastagem natural (PN) com zero suplementação, em PN com suplementação, PN integrado com soja, PN adubada com nitrogênio, fósforo e potássio, e PN com terminação em confinamento.

O sistema em pastagem natural (PN) apresentou índices de produtividade animal semelhantes com os do RS (ver Capítulo II) por isto foi utilizado. No entanto, foi necessária a mínima suplementação com energia, para suprir os valores mínimos das exigências nutricionais recomendadas pelo NRC (2001). Também foi possível simular animais em pastejo recebendo baixos níveis de suplementação (PNS) e preenchendo 100% das exigências de proteína. Para compreender se os dados obtidos tinham coerência com a realidade do RS, foi observado o ganho médio diário e de produtividade simulados no IFSM em comparação com a literatura científica que relatam estes dados reais.

Não foi possível integrar a lavoura soja no período de verão com pastagem de azevém no inverno, pois o software apesar de possibilitar à adição de lavoura junto com a pecuária, trata de forma separada as mesmas.

Mesmo assim, foi simulado o sistema em PN com adição de lavoura de soja. Entretanto, os animais não tem acesso a área destinada a cultura e nenhuma cultura é plantada em área destinada a pastejo..

Na simulação no IFSM com adubação da pastagem natural de 50, 100, 200, 300 kg de NPK na concentração 5:20:20, o modelo apresentou limitações na estimativa de crescimento da forragem necessária para o aumento da capacidade suporte e, conseqüentemente, a taxa de lotação no sistema.

Não foi possível simular nos moldes do sistema de produção do RS a terminação em confinamento com silagem, pois como a silagem foi restringida para todas as categorias e oferecida somente para animais em terminação, o software compreendeu que era necessário comprar feno para outras categorias, pois a silagem não estava sendo oferecida. O IFSM simula da seguinte forma: quando não há pasto suficiente disponível para atender a exigência de forragem pelos animais, a forragem conservada será usada. Se a forragem conservada não está disponível, feno será automaticamente comprado. Como nesta simulação foi somente permitido que a silagem de milho fosse utilizada na terminação, o modelo foi forçado a comprar feno. Quando a silagem de milho não é utilizada, é vendida. Então, para utilizar a silagem de milho na terminação dos animais, esta deve ser liberada/oferecida também para as outras categorias de gado na fazenda. Caso contrário, o IFSM irá comprar feno e a silagem será vendida. Isto ocorre, pois, o modelo considera que os animais em pastejo não recebam silagem, e se receberem silagem, não estarão na pastagem.



## **CAPÍTULO II**

### **3. Economics and carbon footprint of three beef production systems in southern Brazil<sup>1</sup>**

---

<sup>1</sup>Artigo será submetido posteriormente.

## **Economics and carbon footprint of three beef production systems in southern Brazil**

**ABSTRACT:** Increased animal performance is suggested as one of the most effective mitigation strategies to decrease greenhouse gas (**GHG**) emissions from livestock. However, little information exists about effects of increased animal productivity on net decrease of emissions from cattle beef grazed on natural pasture. The objective of this research was to evaluate the economic assessment of production systems in southern Brazil and to evaluate the carbon footprint (**CF**) measured as kg of CO<sub>2</sub> equivalent per kg of body weight gain (**BWG**) using the software Integrated Farm System Model version 4.2. These simulations were done with Angus beef cattle raised on natural pasture (**NP**), natural pasture with low levels of grain supplementation (**NPS**), and NPS combined with soybean production (**NPSI**). Net animal gain kg/ha/year increased 44% for NPS and NPSI when compared with NP. Even though NP production cost per hectare was lower (US\$ 78.14) than NPS (US\$ 99.98) and NPSI (US\$ 142.00), NPS and NPSI had net return per hectare (US\$/ha), 70% and 220% greater, than NP, respectively, due to higher beef productivity from feeding more grain and diversifying into profitable crop enterprises such as soybeans. Natural pasture with low supplementation level in NPS and NPSI significantly decreased ( $P < 0.0001$ ) CF (kg CO<sub>2</sub> equivalent /kg of BWG) by 37% and 48%, respectively, when compared with NP. Furthermore, CF was also 18% lower for NPSI compared with NPS that may be due to greater sequestration of GHG by soybean plants. However, the higher contribution in reducing GHG emissions was due more to low levels of concentrated feed

supplementation. Improved productive efficiency from such low levels of supplementation could reduce the CF/kg of BWG as well as the CF/ha. Low supplementation on natural pasture probably has lower climate change impacts and provides greater net returns per hectare, especially when combined with producing and selling commodity soybeans.

**Key words:** livestock, greenhouse gases, low supplementation, natural pasture.

### 3.1 INTRODUCTION

The demand for food from animal sources is expected to increase by 70% until 2050 (FAO, 2010), driven by population growth, urbanization and rising incomes. The results will be a competition for land and water, that could generate profound impacts to the environment and food security (Herrero *et al.*, 2010; Foley *et al.*, 2011).

The demand for food and animal protein, has been generated over the years a need for intensification of agricultural production systems, and also generated a global concern about climate change and crescent greenhouse gas (**GHG**) emissions (Stocker *et al.*, 2013). During the 15th Conference of United Nations, in Copenhagen, the Brazilian government announced planned reductions in GHG emissions by 2020 of 83–104 Mt CO<sub>2</sub> equivalent (**eq**) by recovering 15 million ha of degraded pastures, 8–22 Mt CO<sub>2</sub>eq with integrated livestock– crop–forest systems, 16–20 Mt CO<sub>2</sub>eq with no-tillage, and an additional 16–20 Mt CO<sub>2</sub>eq with biological nitrogen fixation (Brasil, 2010b). Due to the fact that Brazil has the second largest herd of beef in the world (200 million head)(IBGE, 2013) and approximately 70% of Brazilian methane (**CH<sub>4</sub>**)

emissions are derived from beef cattle production (MCT, 2010), this country has responsibility to reduce GHG emissions and produce food without excess use and degradation of water and other natural resources.

Rio Grande do Sul (**RS**) state has 13.2 million cattle, which is approximately 13% of Brazil's herd (IBGE, 2008). Beef production in RS is based on natural pasture with average net animal gain of 60-70 kg/ha/year (Carvalho et al., 2006; Carvalho et al., 2011) that could increase by 228% with better management of the natural pasture and controlling the stocking rate, and increase by 1328% with fertilization of natural pasture and introducing cultivated pastures (Nabinger *et al.*, 2012). Also, supplementation on pasture could be used to improve the growth performance and cattle productivity (Knorr *et al.*, 2005; Medeiros *et al.*, 2010). Authors reported improved productive efficiency (resource use per unit of food output) considerably reduced the environmental impact of a unit of beef produced (Cardoso, 2012; Hristov *et al.*, 2013).

There are great challenges to scientific research on sustainability, mainly due to methodological metrics limitations about how to measure sustainability. Among all crop-livestock computer models, the Integrated Farm System Model software (**IFSM**) includes technical, economic and environmental assessment of the sustainability (Rotz, 2004; Rotz *et al.*, 2014).

Due to this, the objective of this research to use whole farm approach (IFSM version 4.2; Rotz et al., 2014) to assess the economics and to simulate the carbon footprint (**CF**) measured as kg CO<sub>2</sub> equivalent per kg of body weight gain (**BWG**) of three different beef production systems of Rio Grande do Sul (**RS**) state in southern Brazil, with beef cattle raised on natural pasture

compared to two other models using low supplementation or combined with producing soybeans for cash crop sales.

### 3.2 MATERIAL AND METHODS

The CF and economic assessment of three production systems in Rio Grande do Sul state was simulated using Integrated Farm System Model 4.2, software, USDA-ARS, University Park, PA, USA, that simulates crop growth, feed production and use, animal growth, and returning manure nutrients to the land to predict the environmental impacts and economics of agriculture production systems (Rotz *et al.*, 1989; Rotz, 2004; Rotz *et al.*, 2013; Rotz *et al.*, 2014). Animal care and use committee approval was not obtained for this study because no animals were used.

#### 3.2.1 Farm in the region

This simulation study was performed with data based on a farm located in central RS state, in southern Brazil (S 30° 26' 45.4" W 53° 11' 02.4"). The climate is subtropical humid "Cfa", according to the Köppen classification. Farm performance was simulated over 25 years (1988 to 2013) of observed weather data collected at the experimental station farm of Universidade Federal do Rio Grande do Sul (**UFRGS**) in Eldorado do Sul, located in the same central region, 151 km from the cooperating farm evaluated. The average maximum and minimum temperature over these 25 years were 24.7°C and 13.5°C respectively, precipitation was 1,545 mm/year, humidity was 81.4%, global radiation was 15.1 MJ/m<sup>2</sup>, and annual wind speed was 1.7 m/s.

The cooperating farm has a beef Angus cattle production system based on cow-calf, growing and finished cattle raised on natural pasture, winter pasture

(*Lolium perenne* Lam), supplemented on pasture and crop-livestock integration. The average of five years of production and economics data (2009 – 2013) from this representative farm were used to simulate three representative production systems in RS state.

### **3.2.2 Description of simulations**

The three simulations modeled in IFSM were: 1) natural pasture (**NP**), 2) natural pasture with low supplementation of grain (**NPS**), and 3) NPS combined with soybeans for cash sales and not internal utilization as feed (**NPSI**). Economic impacts and carbon footprint were evaluated for these three representative production systems in RS state. The breed herd simulated was Angus with a herd composition of 750 cows, 157 replacement heifers, 566 stocker cattle, 138 finish cattle, with 30% of cows in first lactation. The number of animals across all three simulations was the same to reduce undesired variability during system comparisons. However, the days required for each animal to reach final live weight (450 kg; Table 1), under the different scenarios was different due to the differences in nutritional quality of diets. IFSM models were set for zero-forage balance to insure accurate comparison, where pasture and/or crop area was adjusted so there was no buying or selling of forage on average over the 25-year simulation period.

NP simulation used 2,975 ha of natural pasture and pasture utilization efficiency was 60%. The animals were fed with very low supplementation level to meet 20% of protein requirements (NRC, 2000) (Table 1). The growing periods were: age of weaning (at 7 months), stocker period (11 months), and finishing period (11 months). Fertilizer was not used on pasture. The tractor

used in the farm was 108 hp (80 kW) at a price of US\$ 73,350. The initial investment of perimeter fence was US\$ 53,000 with temporary fence valued at US\$ 1,462. Simulations assumed a machine shed valued at US\$ 50,000 and a feed storage shed at US\$ 40,000. All other economic input costs, commodities prices, economic life, salvage value, interest rate and fertilizer prices are summarized in Table 2.

NPS was based on 2,893 ha of natural pasture and pasture utilization efficiency also of 60%. Cows, heifers, stockers, and finish cattle were fed at a supplementation level to meet 100% of protein requirements (NRC, 2001; Table 1) and weaning period was the same as NP with the stocker and finishing periods reduced to 10 month and 3 months respectively. Grazing management, initial capital (equipment and buildings) costs, input costs, commodities prices, economic life, salvage value, interest rate and fertilizer prices were the same as the NP system (Table 2).

**Table 1.** Land area, growing period goals, forage to grain ratio, level of supplementation, protein requirements fill for supplement, on three simulated production systems in Rio Grande do Sul State

	-----Production Systems-----		
	NP	NPS	NPSI
Land area (ha)			
NativePasture	2,975	2,893	2,893
Soybean	-	-	289.3
Growingperiodgoals (months)			
Age ofweaning	7	7	7
Stockerperiod	11	10	10
Finishingperiod	11	3	3
Forage tograinratio	High	High	High
Supplementationlevel	No	Low	Low
Protein requirements fill for supplement (%)	20	100	100
Weight (kg)			
Initialfinishbodyweight	380	380	380
Final finishbodyweight	450	450	450

The NPSI system has the same cattle management, pasture operations and supplementation as the NPS model, however, 289.3 hectares (10% of the total area) of soybeans were cultivated for cash sales as grain with total area for NPSI at 3,182.3 ha (2893 ha of natural pasture and 289.3 ha of soybean crop).

Soybean was planted October 25<sup>th</sup>, with a 6-row corn planter (4.6 m; initial cost US\$ 189,000) with the same tractor used in NP and NPS. Fertilizer and chemicals were sprayed on 15-Oct, 14-Nov, 4-Dec, 20-Dec and 13-Jan. The sprayer with 9.1 m wide boom (US\$ 5,850) attached to the same tractor as the others operations. Soybean harvest was March 10<sup>th</sup> using a small, 6-row corn combine (US\$ 240,00). The macro-nutrient fertilizer cost (US\$/ha) were lowest for nitrogen (US\$14.49), highest for phosphorus ( $P_2O_5$ ) (US\$91.43) and intermediary for potassium ( $K_2O$ ) (US\$ 34.12). The lime cost (US\$/ha) was US\$ 142.91. Seed and chemicals were US\$ 128.80/ha. All per unit economic costs, economic life, salvage value, interest rate and fertilizer prices are summarized in Table 2.



**Table 2.** General economic cost, livestock expenses/year (US\$/head), commodity prices (US\$/ton dry mater - DM), cattle prices, economic life (years), salvage value (%), interest rate (%) and fertilizer prices (US\$/kg) for all three models

Item	Variables
<b>General</b>	
Diesel fuel (US\$/liter)	0.82
Electricity (US\$/kWh)	0.12
Labor wage (US\$/hour)	2.50
Property tax (%)	0.50
Livestock expenses/year (US\$/head)	
Veterinary and medicine	7.31
Fixed time insemination	15.70
Commodity (US\$/ton of DM)	
Buying prices (US\$/ton of DM)	
Soybean meal 44%	338.90
Corn grain	132.10
Minerals	104.00
Selling Prices	
Soybeans	327.88
<b>Cattle price</b>	
Finished cattle (US\$/kg of live weight)	1.21
Cull cow (US\$/kg of live weight)	1.06
Bred heifer (US\$/animal)	629.91
Feeder cattle (US\$/kg of live weight)	1.26
Animal marketing fee (%)	1.00
<b>Economic life (years)</b>	
Machinery	12.00
Structure	30.00
<b>Salvage value (%)</b>	
Machinery	10.00
Structure	2.50
<b>Interest rate (%)</b>	
Medium term	6.50
Long term	6.50
<b>Fertilizer prices</b>	
Nitrogen (US\$/kg)	0.97
Phosphate (US\$/kg)	1.02
Potash (US\$/kg)	0.76
Lime (US\$/t)	38.70

The soil used for all three simulations was a medium clay loam with low phosphorus level (< 30 ppm) and gently sloping topography (3-8%) (Table 3).

The natural pasture used in these scenarios (Table 4) was composed by 77% of

C4 grass species (predominantly *Paspalumnotatum* and *Axonopusaffinis* in inferior strata and *Andropogonlateralis* in the superior), 20% of C3 grasses (*Briza* spp. and *Stipa* spp.), and 3% of legumes (predominantly *Desmodiumincanum*).

**Table 3.** Soil characteristics for cooperating farm, in RS state

Soil attributes	Medium Clay Loam
Available water holding capacity (mm)	300
Fraction of available water when stress begins	0.45
Bare soil albedo	0.2
Soil evaporation coefficient, mm	5.994
Moist bulk density of soil (g/cm <sup>3</sup> )	1.5
Organic carbon concentration (%)	1.8
Particle content (%)	
Silt	22
Clay	31
Sand	47
Runoff curve number w/ row crops	85
Whole profile drainage rate coefficient	0.35
pH	7
Exchangeable acidity	3.5

**Table 4.** Sward species characteristics for cooperating farm, in RS state

Sward Species Characteristics	C4-Grass (77%)	C3-Grass (20%)	Legume (3%)
Specific leaf area (m <sup>2</sup> /kg leaf DM)	15	20	14
Maximum photosynthetic temperature (°C)	32	35	30
Optimum photosynthetic temperature (°C)	30	20	20
Minimum photosynthetic temperature (°C)	0	0	0
Base photosynthetic rate (μmol CO <sub>2</sub> /m <sup>2</sup> /s)	30	17.06	113.64
Temperature effect photosynthesis (μmol CO <sub>2</sub> /m <sup>2</sup> /s/°C)	1.14	1.14	11.36
Light extinction coefficient	0.7	0.5	0.5
Radiation-use coefficient (g/MJ total radiation)	4.5	5	4.77
Proportion growth sent to shoot	0.5	0.7	0.6
Leaf transmission coefficient	0.1	0.1	0.1
Maximum rooting depth (cm)	100	80	80.01
Maximum nitrogen concentration (%)	2.5	4.8	3.84

The pasture quality composition and the feed type nutritional composition inserted to the systems were demonstrated on table 5 for scenarios in natural pasture, natural pasture with low supplementation and NPS combined with soybeans.

**Table 5.** Composition of the presumable consumed forage and feed type (crude protein (CP), degradable protein (DP), neutral detergent fiber (NDF) and total nutrient digestive (TDN) of evaluated scenarios

	-----FeedType -----				----- Pasture -----			
	Corn	Soybeanmeal 48%	Urea	Mineral	Spring	Summer	Autumn	Winter
CP (%)	9	49	283	-	11.5	10	9	8
DP (%)	48	70	100	-	80.5	70	65	65
NDF (%)	14	15	-	-	63	65	65	65
TDN (%)	86	81	-	-	63.5	62	59	59

### 3.2.3 Integrated Farm System Model

IFSM is a process-level farm model that simulates crop growth and pasture growth, feed production and use, animal growth, and manure nutrient cycling to predict the environmental impacts and economics of agriculture production systems (Rotz *et al.*, 1989; Rotz, 2004; Rotz *et al.*, 2013; Rotz *et al.*, 2014; Rotz *et al.*, 2015).

Crop and pasture growth and yield are predicted daily in metric tons (t), based on soil, water and nutrient availability, temperature, and solar radiation. Growth of each pasture species in the sward is predicted from emergence to the end date of vegetative growth using functions from the GRASIM model developed by Mohtar *et al.* (1997).

Energy, protein, and mineral requirements for each animal group are determined using relationships from the Cornell Net Carbohydrate and Protein

System, level 1 (Fox *et al.*, 2004). The quantity and nutrient contents of the manure produced are a function of the feeds consumed and herd characteristics (Rotz *et al.*, 2014). If feed quality or availability limits growth, average daily gain (ADG) is decreased, and the length of the growing or finishing period is extended (Rotz *et al.*, 2005).

Total production cost is subtracted from the total income received for culled and finished animal sales to determine the net return to the full production system. The performance of the entire system is weather dependent; therefore, farms are simulated over a 25-yr sample of recent historical weather (Rotz *et al.*, 2014).

IFSM software uses the CENTURY (2007) and DAYCENT (2007) agroecosystem model to simulate carbon (**C**), nitrogen (**N**), phosphorus (**P**), and sulfur (**S**) dynamics through an annual cycle over time scales of centuries and millennia. A cradle-to-farm gate Life Cycle Assessment (**LCA**) is used in IFSM to integrate emissions from primary and secondary GHG sources. Carbon footprint is the total GHG emission, expressed in CO<sub>2</sub>eq units, associated with that product or service (Rotz *et al.*, 2014). The conversion to CO<sub>2</sub> eq is done using the global warming potential (**GWP**) of each gas. GWP values used for CH<sub>4</sub> and N<sub>2</sub>O are 25 and 298 CO<sub>2</sub>eq /kg, respectively (Houghton *et al.*, 2001). A carbon footprint per unit of beef output is determined by totaling the net lifetime GHG emissions and dividing by lifetime production in kg of body weight gain (**BWG**) (Rotz *et al.*, 2014).

### 3.2.4 Statistics

Values regarding year were considered repetition. The variables in IFSM called “Carbon footprint with biogenic CO<sub>2</sub> eq did not follow a normal distribution (Shapiro-Wilk test,  $P < 0.05$ ) and the data transformation did not work. Therefore these variables were analyzed by using a mixed generalized linear models through GLIMMIX SAS procedure 9.1 to produce better model fits. Distributions of the dependent variables were compared using the criteria AIC (Akaike, 1973).

## 3.3 RESULTS

### 3.3.1 Production performance

Concentrated feed consumed (t DM/year) formulated by IFSM 4.2 for each simulation are showed in Table 6. Total forage produced (kg of DM/ha/year) and consumed (kg of DM/ ha/year) was 4,830 and 1,513.3 for NP, 4,820 and 1,201.52 for NPS and 4,800 and 1,201.52 NPSI, respectively. Total feed intake per year was 4,538 ton of DM for NP and 4,015 t of DM for NPS and NPSI. The total forage consumed for NPS and NPSI was lower due to the grain supplementation. Total supplement consumed per day was 0.006% of body weight (**BW**) for NP and 0.105% of BW for NPS and NPSI. Average daily gain was 462 g/animal/day for NPS/NPSI and only 329 g for NP. Thus, the net animal gain sold/ha/year was 44.61% greater for NPS/NPSI when compared with NP (Figure 1). The average stocking rate for NP was 0.4 animal units per hectare (1 animal unit or AU = 450 kg) and for NPS and NPSI was 0.41 AU. The soybean yield for NPSI was 2.56 t of DM/ha.

**Table 6.** Concentrated feed consumed-CC (t DM/year) for natural pasture (NP) natural pasture with low supplementation (NPS) and NPS combined with soybeans (NPSI)

CC (ton of DM/year)	----- FeedTypes -----			
	Corn	Soybeanmeal 48%	Urea	Mineral
NP	7	-	-	29
NPS	497	4	13	25
NPSI	497	4	13	25

### 3.3.2 Economics

Even though NP production cost per hectare are lower (US\$ 78.14) than NPS (US\$ 99.98) and NPSI (US\$ 142.00), NPS and NPSI had net return per hectare (US\$/ha), 70% and 220% greater, respectively, when compared to NP (Table 7). NPSI strategy had 87% higher net return/ha than NPS (Table 7). This is due to greater gross income for animal sales in NPS and greater gross income from crop sales in NPSI. While costs were higher for NPSI, soybean production for cash sale was profitable resulting in greater net return per hectare than NP and NPS.

**Table 7.** Economic values (US\$/year) for farm revenue, livestock and crop costs, and net return for natural pasture (NP), natural pasture with low supplementation (NPS) and NPS with soybean-livestock integration systems (NPSI) for Rio Grande do Sul state

	Treatments		
	NP	NPS	NPSI
<b>Costs (US\$/year)</b>			
Equipment	62,210	61,277	108,985
Facilities	7,516	7,516	7,516
Energy	19,122	18,085	22,666
Labor	20,245	20,769	22,015
Purchased feeds/bedding	3,962	74,255	74,255
Livestock expenses	100,923	89,366	89,366
Property tax	18,474	17,967	19,754
Seed, fertilizer			106,220
Total costs	232,452	289,235	450,777
Cost per hectare	78.14	99.98	142.00
<b>Farm revenues (US\$/year)</b>			
Gross income from animal sales	278,411	365,473	365,473
Gross income from grain sales	-	-	242,631
Net return	45,959	76,238	157,327
Net return per hectare (US\$/ha)	15.45	26.35	49.00

### 3.3.4 Environmental Impacts

NPSI scenario had 48% and 18% lower ( $P < 0.001$ ) CF (kg CO<sub>2</sub> biogenic equivalent /kg of BWG) than NP and NPS. NPS had 37% lower ( $P < 0.001$ ) CF when compared to NP (Table 8). Also, the GHG (kg CO<sub>2</sub> eq) per hectare was lower to NPSI (1,824.60), than NPS (2,366.97) and NP (2,568.37) (Table 8).

NPS and NPSI had 10% lower animal emissions (kg CO<sub>2</sub> eq /ha) and 14% lower manure emissions (kg CO<sub>2</sub> eq /ha), when compared to NP. The emissions during the feed production represents the N<sub>2</sub>O emissions from cropland, and NPSI had this emission source lower (1,037.51) when compared

o NPS (1,650.45) and NP (1,799.36). This happened, because NPSI had lower nitrogen losses by denitrification per hectare (7.7 kg/ha) when compared to NP (12.4 kg/ha) and NPS (10.9 kg/ha). On the other hand NP, a low input system, had 83% lower emission (kg/ha CO<sub>2</sub> eq) during production inputs when compared with NPS and NPSI (Table 8).

Regardless of the system evaluated, the GHG from emissions during feed production (kg CO<sub>2</sub>eq/ha), animal emissions (kg CO<sub>2</sub> eq/ha), and from production resources inputs (fertilizers, chemicals, grain and minerals food) contributed more to CF than other emissions sources (Table 8).

**Table 8.** Greenhouse gas emissions (GHG) in CO<sub>2</sub> equivalent (eq) and carbon footprint  $\pm$  standard deviation of natural pasture (NP), natural pasture with low supplementation (NPS) and NPS with soybean-livestock integration systems over 25 years of weather evaluation

	----- Models -----		
	NP	NPS	NPSI
Greenhouse gas emissions - CO <sub>2</sub> eq (kg/ha)			
Animal emissions <sup>1</sup>	871.38	776.37	776.37
Manureemissions	14.73	12.59	12.59
Emissionduringfeed production <sup>2</sup>	1,799.36	1,650.45	1,037.51
Net biogenic carbon dioxide emission <sup>3</sup>	-150.42	-174.81	-161.78
Anthropogeniccarbondioxideemission <sup>4</sup>	17.56	17.60	53.83
Productionofresource inputs <sup>5</sup>	15.77	84.76	106.08
Total GHG/há	2,568.37	2,366.97	1,824.60
Carbon footprint over 25 years analyses			
CF with biogenic CO <sub>2</sub> eq (kg/kg BW) <sup>6</sup>	39.90 $\pm$ 6.10 <sup>a</sup>	25.10 $\pm$ 3.99 <sup>b</sup>	20.45 $\pm$ 2.88 <sup>c</sup>

<sup>1</sup> Emissionsfromfermentation.

<sup>2</sup> N<sub>2</sub>O emissions from cropland (pasture and soybean).

<sup>3</sup>Net exchange of CO<sub>2</sub> with the atmosphere including, assimilation in crop and animal growth, respiration emission from animals and manure and assimilated CO<sub>2</sub> converted to CH<sub>4</sub>.

<sup>4</sup>Fuel combustion and that emitted from applied lime to soybean.

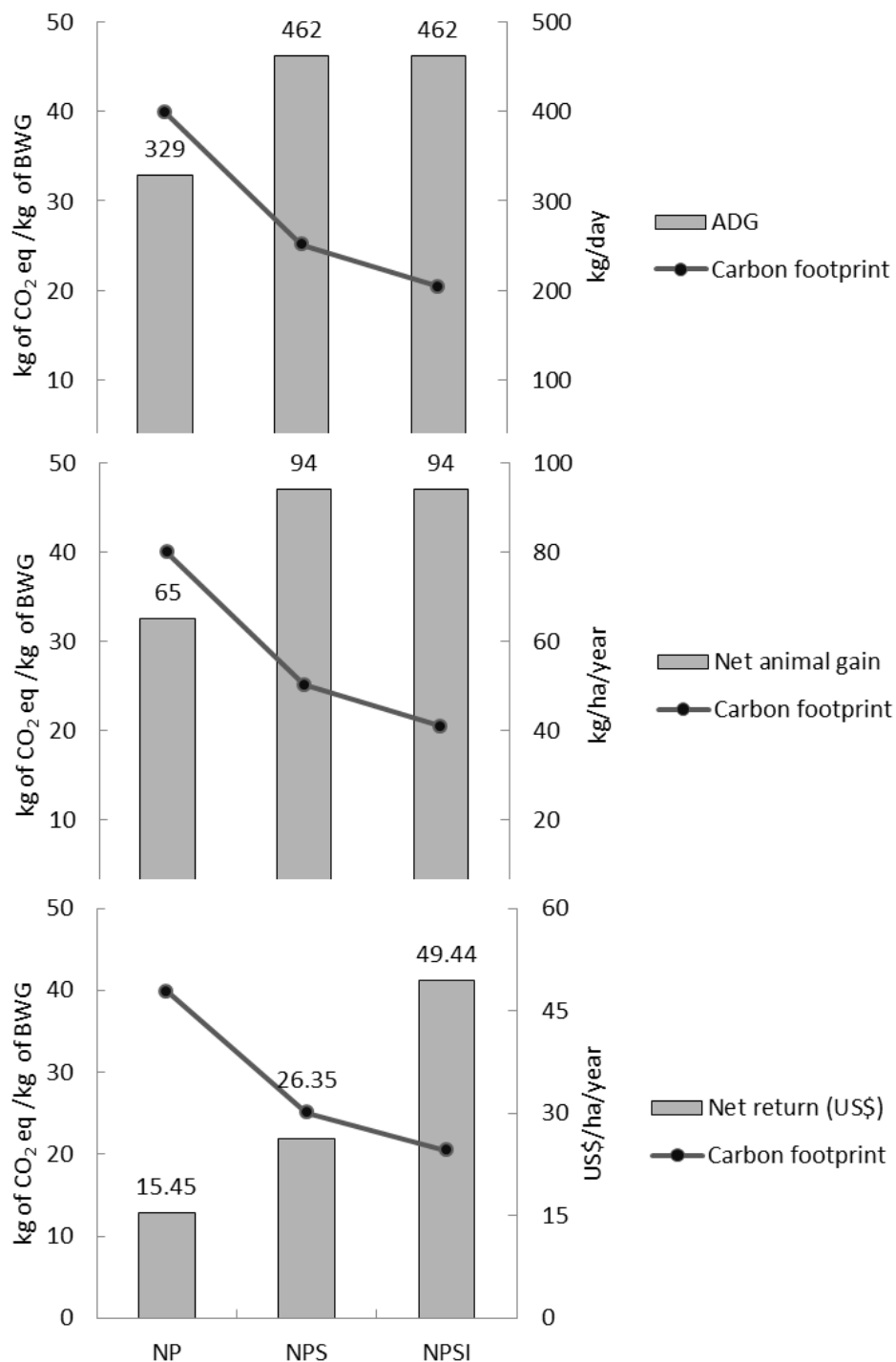
<sup>5</sup>Emission factors described in IFSM manual are used to predict the emissions from feed and fertilizer inputs.

<sup>6</sup>Values within a row with different superscripts differ significantly (P<0.001).



### **3.3.5 Carbon footprint versus production and economics**

Natural pasture supplemented and combined with soybean scenarios had lower GHG emissions both per ha and per unit of beef produced. CF (kg CO<sub>2</sub> biogenic equivalent/kg of BWG) is inversely proportional to ADG, net animal gain sold/ha/year, and subsequently net return/ha (US\$) as shown in Figure 1. The net return per hectare (US\$) is directly related with the productive efficiency and greater ADG, that results from greater supplemental feed for both NPS and NPSI models. Furthermore NPSI, driven by diversifying into soybeans (a global high value commodity crop), had greater net return per hectare (US\$) than others treatments.



**Figure 1.** Carbon footprint with biogenic CO<sub>2</sub> (kg/kg of BW) related to average daily gain (ADG), net animal gain sold (kg/ha/year) and net animal return per hectare (US\$/ha) for the natural pasture (NP), natural pasture with low supplementation (NPS) and NPS with soybean combined (NPSI)

### 3.4 DISCUSSION

Brazil and RS have large variation in production and productivity levels for beef production systems (Ferraz and Felicio, 2010). At one extreme, there is land-extensive beef cattle production, with minimum use of technology and human interference, with 21% average of cattle offtake. In contrast, there are beef production systems using intensification strategies such, fertilizing pastures (Ferreira *et al.*, 2011) to improve the forage production and quality, supplementation on pasture (Medeiros *et al.*, 2010; Patino *et al.*, 2015), crop livestock integration (Carvalho *et al.*, 2011) and genetic improvement.

The total forage produced per hectare per year (kg of DM / hectare/ year) in IFSM was based on soil and sward species characteristics described in material and methods and was similar to the forage produced annually in RS state (4,000-4,500 kg of DM hectare/year) on natural pasture (Carvalho *et al.*, 2006), however the stocking rate per ha per year was lower (0.4 A.U.) for the scenarios evaluated in IFSM when compared to the annual average for (0.7 A.U.).

The animal productivity rates in Rio Grande do Sul(RS) production systems could vary between 60-1000 kg per hectare per year, depending on the management practices implemented (Nabinger *et al.*, 2012). IFSM was not able to simulate the greater capacity of the natural pasture in RS, only reaching levels of 65 to 90 kg/ha/year. Management practices carried out in RS showed that high and moderate herbage allowance (16%, 12% and 8-12%, respectively) emit less methane per unit area and per kg of produced animal live weight (Cezimbra, 2015).

The inefficiency of livestock with lower productivity per hectare could generate larger amounts of GHG per kg of meat and milk produced (Capper, 2012). Improving the ADG, animal productivity and reducing the age at slaughter from 29 (NP) to 20 months of age (NPS/NPSI), using grain supplementation with the best price (NPS) or diversifying beef production by selling soybeans (NPSI) demonstrated greater economic net return per hectare coupled with reduced carbon footprint per kg of meat produced.

These results are consistent with Monteiro (2009) who simulated progressive intensification of a Brazilian herd production system. Three production systems from calving to slaughter were simulated on a total farm area of 800 ha: 1) a system representing average Brazilian productivity (BP), 2) a system representing intensive grazing (IP), and 3) the same intensive grazing system using a short-term feedlot finishing period (IPC). When considering all the inputs of these three systems, the total CO<sub>2</sub>eq productivity by unit of carcass (kg of carcass) were 19.9, 14.1, 12.3 kg, respectively. The model demonstrated that CH<sub>4</sub> and CO<sub>2</sub>eq production per unit of area increased with higher intensity systems, however there was a reduction in GHG emissions per unit of meat produced in the IP (29%) and IPC (12%) intensified systems, respectively, than BP system. The lower CF in intensive systems is explained due to greater animal ADG in IP (0.377 kg) and IPC (0.625 kg) than BP (0.300 kg), generating greater animal productivity (kg/ha/year).

Their results were consistent with Cardoso *et al.* (2012) and our research, where animals with lower levels of supplementation on pasture (PNS and PNSI) and greater animal ADG produced lower CF per unit (kg) of BWG.

On the other hand, CF/ha was lower also for animals (NPS and NPSI) supplemented at a low level. This could be explained, because NPS and NPSI increased beef productivity, but not to an extent where CF/ha increased compared to NP. NP scenario had greater CF/ha even though the stocking density was lower compared to NPS and NPSI. This may be due to nutrient fertility input from grain-supplemented animals that fertilize the pasture resulting in greater carbon sequestration by the plant, thus lowering CF. This theory may be explained due to the lower net biogenic carbon dioxide emission in supplemented animals (NPS and NPSI).

The estimated CF in this research ranged from 39.9 (NP), 25.1 (NPS) and 20.45 (NPSI) kg of CO<sub>2</sub> eq/kg BWG was in agreement with the literature, with similar to results from Ruviano *et al.* (2014), that simulates beef cattle in southern Brazil on natural, cultivated and improved pasture, which ranged from 18.30 to 42.60 kg CO<sub>2</sub>eq/kg BW gain for a complete beef cattle system, including the contributions of cows, calves, and steers. Other studies evaluating the CF of beef production in Japan (Ogino *et al.*, 2004), Sweden (Koneswaran e Nierenberg, 2008) and Brazil (Cederberg *et al.*, 2009) also reported similar values of total GHG emissions compared to our study, ranging from 22.8 to 32,3 kg of CO<sub>2</sub>eq/kg of beef. This agreement with the literature is important to sustain the present results.

Major components of the carbon footprint of beef cattle production in our research were emissions during feed production (N<sub>2</sub>O emissions from cropland) and due to the animal emissions (CH<sub>4</sub> emissions). Related to this, Rotz *et al.* (2013) and Rotz *et al.* (2015), founded major components of CF were enteric

CH<sub>4</sub> emission, CO<sub>2</sub> from fuel combustion and pre-chain emissions during the manufacture of resources used. Because the U.S. uses more confined rather than pastured animals, the CH<sub>4</sub> and N<sub>2</sub>O emission from open manure pits have a greater contribution to GHG emissions.

The higher contribution in reducing GHG emissions was due to supplementation, however soybeans also has a role in lower CF which was observed in NPSI which had lower CF emissions from food production compared to other simulations. This is may be due to crops such as soybeans increasing the absorption of N in the plant and reducing the accumulation of NO<sub>3</sub> and thereby reducing the production of N<sub>2</sub>O through denitrification which can reduce GHG emissions (Heichel e Helsel, 1987). However, the software does not take into account the implications of land use change (natural pasture to soybean) and the losses on biodiversity that come with these changes. Because of this, it is necessary to evaluate not just the GHG impacts inside the system, but calculate the impact of changing land use and losses in biodiversity as well (Castanheira *et al.*, 2013).

Thus, better pasture management, improving forage quality, optimizing rumen function for higher microbial protein synthesis through feeding of a balanced diet matching the physiological stage of the animal, enhancing the overall efficiency of dietary nutrient use, the genetic improvement of animals, all are techniques that may improve livestock productivity and reduce GHG emissions per kg of beef produced (Gerber *et al.*, 2013; Hristov *et al.*, 2013)

### 3.5 CONCLUSION

Under the conditions evaluated, it was not possible to represent the real potential of animal productivity on natural pasture in RS, reaching since such productivity rates were below that their potential.

However, net animal gain in this specific conditions evaluated in IFSM software, increased 44% for NPS and NPSI when compared with NP, due to the greater ADG. Even though NP production cost per hectare was lower than NPS and NPSI, NPS and NPSI had greater net return per hectare than NP, due to higher beef productivity from feeding more grain and diversifying into profitable crop enterprises such as soybeans. Natural pasture with low supplementation level in NPS and NPSI significantly decreased CF by 37% and 48%, respectively, when compared with NP. Furthermore, CF was also 18% lower for NPSI compared with NPS that may due to be greater sequestration of GHG by soybean plants. However, greater contribution to reducing GHG emissions was due more to supplementation. Improved beef productivity efficiency with low levels of grain supplementation reduced the CF/kg of BWG and per hectare also in this specific research. Low supplementation on natural pasture may reduce the climate change impacts and when combined with soybean production further increased net returns per hectare. However, is necessary in the future to calculate the impact of changing land use (natural pasture converted to soybean) on not just GHG emissions but biodiversity as well.

### 3.6 LITERATURE CITED

- Akaike, H. 1973. Information theory as an extension of the maximum likelihood principle. . In: Second International Symposium on Information Theory. In: Petrov BN, Csaki F (eds); Budapest, Akademiai Kiado, p 267–281.
- Capper, J. L. 2012. Is the grass always greener? Comparing the environmental impact of conventional, natural and grass-fed beef production systems. *Animals* 2: 127-143.
- Cardoso, A. d. S. 2012. Avaliação das emissões de gases de efeito estufa em diferentes cenários de intensificação de uso das pastagens no Brasil Central. Dissertação de mestrado. UFRJ.
- Carvalho, P. C. F. et al. 2011. Experiências de integração lavoura-pecuária no Rio Grande do Sul. III encontro de integração Lavoura pecuária: Synergismusscientifica, UTFPR, Pato Branco 6:2.
- Carvalho, P. C. F. et al. 2006. Produção animal no bioma campos sulinos. *Brazilian Journal of Animal Science* 35: 156-202.
- Castanheira, E. G; Freire, F. 2013. Greenhouse gas assessment of soybean production: implications of land use change and different cultivation systems. *Journal of Cleaner Production* 54:49-60.
- Cederberg, C., D. Meyer, and A. Flysjö. 2009. Life cycle inventory of greenhouse gas emissions and use of land and energy in Brazilian beef production. SIK-Institutet för livsmedel och bioteknik.
- CENTURY. 2007. CENTURY user's guide and reference. Natural Resource Ecology Laboratory, Colorado State University, Fort Collins, CO. Available at: <http://www.nrel.colostate.edu/projects/century5/reference/index.htm>
- DAYCENT. 2007. DAYCENT. Ver. 4.5. Fort Collins, CO: Natural Resource Ecology Laboratory, Colorado State University.
- FAO. 2010. An international consultation on integrated crop-livestock systems for development: The way forward for sustainable production



- intensification. Food and Agriculture Organization of the United Nations 13: 1-79.
- Ferraz, J. B., & Felicio, P. E. 2010. Production systems: An example from Brazil. *Meat Science*, 84(2):238–243. <http://dx.doi.org/10.1016/j.meatsci.2009.06.006>.
- Ferreira, E. T. et al. 2011. Terminação de novilhos de corte Angus e mestiços em pastagem natural na região da Campanha do RS. *Revista Brasileira de Zootecnia* 40: 2048-2057.
- Foley, J. A. et al. 2011. Solutions for a cultivated planet. *Nature* 478: 337-342.
- Fox, D. G. et al. 2004. The Cornell Net Carbohydrate and Protein System model for evaluating herd nutrition and nutrient excretion. *Animal Feed Science and Technology* 112: 29-78.
- Gerber, P. J. et al. 2013. Technical options for the mitigation of direct methane and nitrous oxide emissions from livestock: a review. *Animal* 7: 220-234.
- Heichel, G., and Z. Hessel. 1987. Legume nitrogen: symbiotic fixation and recovery by subsequent crops. *Energy in plant nutrition and pest control. Energy in World Agriculture*. 2: 63-80.
- Herrero, M. et al. 2010. Smart investments in sustainable food production: revisiting mixed crop-livestock systems. *Science (New York, NY)* 327: 822.
- Houghton, J. T. et al. 2001. IPCC - Climate change 2001: The scientific basis. Contribution of Working Group I to the third assessment report of the Intergovernmental Panel on Climate Change.
- Hristov, A. et al. 2013. Special Topics—mitigation of methane and nitrous oxide emissions from animal operations: I. A review of enteric methane mitigation options. *Journal of Animal Science* 91: 5045-5069.
- IBGE. 2008. Automatic System Recovery e SIDRA. Brazilian Institute of Geography and Statistics.
- Knorr, M. et al. 2005. Desempenho de novilhos suplementados com sais proteinados em pastagem nativa. *Pesquisa Agropecuária Brasileira* 40: 783-788.

- Koneswaran, G., and D. Nierenberg. 2008. Beef production: Koneswaran and Nierenberg respond. *Environmental health perspectives* 116: A375.
- MCT. 2010. Anthropogenic Emissions and Removals Inventory of Greenhouse Gases. Not Controlled by the Montreal Protocol e Initial Communication from Brazil. Part II. Ministry of Science and Technology. Brasília.
- Medeiros, F. S., H. O. Patino, M. A. S. Cano, D. C. Rocha, and F. González. 2010. Desempenho e características de carcaça de novilhos terminados em pastagem de aveia preta e azevém anual com diferentes níveis de suplementação energética. *Ciência Rural* 40: 141-148.
- Mohtar, R., D. Buckmaster, and S. Fales. 1997. A grazing simulation model: GRASIM A: model development. *Transactions of the ASAE* 40: 1483-1493.
- Monteiro, R. B. N. C. 2009. Desenvolvimento de um modelo para estimativas da produção de gases de efeito estufa em diferentes sistemas de produção de bovinos de corte. Tese de doutorado. Universidade de São Paulo.
- Nabinger, C., E. T. Ferreira, A. K. d. Freitas, P. C. d. F. Carvalho, and D. M. Sant'Anna. 2012. Campos Sulinos-conservação e uso sustentável da biodiversidade- Produção animal com base no campo nativo: aplicações de resultados de pesquisa. Ministério do Meio Ambiente-MMA.
- NRC. 2000. Nutrient Requirements of Beef Cattle: Seventh Revised Edition. 248 pages.
- Ogino, A., K. Kaku, T. Osada, and K. Shimada. 2004. Environmental impacts of the Japanese beef-fattening system with different feeding lengths as evaluated by a life-cycle assessment method. *Journal of Animal Science* 82: 2115-2122.
- Patino, H., F. Medeiros, C. Pereira, K. Swanson, and C. McManus. 2015. Productive performance, meat quality and fatty acid profile of steers finished in confinement or supplemented at pasture. *Animal* 9(6):966-72.
- Rotz, C. 2004. The integrated farm system model: a tool for developing more economically and environmentally sustainable farming systems for the

- Northeast. In: American Society of Agricultural Engineers Meetings Papers.
- Rotz, C. A., S. Asem-Hiablé, J. Dillon, and H. Bonifacio. 2015. Cradle-to-farm gate environmental footprints of beef cattle production in Kansas, Oklahoma, and Texas. *Journal of Animal Science* 93: 2509-2519.
- Rotz, C. A., D. R. Buckmaster, and J. W. Comerford. 2005. A beef herd model for simulating feed intake, animal performance, and manure excretion in farm systems. *Journal of Animal Science* 83: 231-242.
- Rotz, C. A., D. R. Buckmaster, D. R. Mertens, and J. R. Black. 1989. DAFOSYM: A dairy forage system model for evaluating alternatives in forage conservation. *Journal of Dairy Science* 72: 3050-3063.
- Rotz, C. A. et al. 2014. The Integrated Farm System Model. United States Department of Agriculture (USDA). Pasture Systems and Watershed Management Research Unit. Agricultural Research Service. Available at: <http://www.ars.usda.gov/sp2UserFiles/Place/80700500/Reference%20Manual.pdf>
- Rotz, C. A., B. J. Isenberg, K. R. Stackhouse-Lawson, and E. J. Pollak. 2013. A simulation-based approach for evaluating and comparing the environmental footprints of beef production systems. *Journal of Animal Science* 91: 5427-5437.
- Ruviaro, C. F., C. M. de Léis, V. d. N. Lampert, J. O. J. Barcellos, and H. Dewes. 2014. Carbon footprint in different beef production systems on a southern Brazilian farm: a case study. *Journal of Cleaner Production*. 96:435-443.
- SAS Institute Inc. 2011. SAS 9.3 Software. Cary, NC: SAS Institute Inc.
- Stocker, T. et al. 2013. Climate change: the physical science basis. Contribution of working group I to the fifth assessment report of the intergovernmental panel on climate change (IPCC).

### **CAPÍTULO III**

#### **4. Avaliação da sustentabilidade ambiental de três sistemas de produção de bovinos de corte no Rio Grande do Sul**

---

Artigo será submetido posteriormente.

## **Avaliação da sustentabilidade ambiental de três sistemas de produção de bovinos de corte no Rio Grande do Sul**

**RESUMO:** Para avaliar a sustentabilidade ambiental de um sistema de produção agropecuário é necessária uma avaliação holística de todos componentes que envolvem possíveis impactos ambientais no sistema, como o uso de água, energia e emissão de gases do efeito estufa (GEE). Diante disto, o objetivo desta pesquisa foi quantificar através de simulações, a produção de GEE ( $\text{CO}_2$ ,  $\text{CH}_4$ ,  $\text{NO}_2$ ), o uso da água e da energia, em sistemas de produção do Rio Grande do Sul em pastagem natural (**PN**), com baixa suplementação (**PNS**), e PNS combinado com a lavoura de soja (**PNSI**). Baixos níveis de suplementação em pastagem natural possibilitaram menor pegada de carbono para PNSI (20.45 kg  $\text{CO}_2$ /kg PVG) e PNS (25.10 kg  $\text{CO}_2$ /kg PVG) quando comparado a PN (39.90 kg  $\text{CO}_2$ /kg PVG) e ainda, quando integrado com soja, permitiu diminuir as perdas de nitrogênio por desnitrificação, mesmo obtendo uma maior pegada de nitrogênio (PNSI = 948.50 g N/kg PVG) devido a maior lixiviação de nitrogênio em comparação a PN (856.80 g N/kg PVG) e PNS (655.10 g N/kg PVG). Entretanto, os sistemas que utilizaram mais insumos na lavoura e para produção animal, apresentaram uma maior pegada hídrica (Mg  $\text{H}_2\text{O}$ /kg PVG), 178, 43 e 40 para PNSI, PNS e PN, respectivamente, como também, maior pegada de energia (MJ/kg PVG), 19.32, 8.42, 7.11 para PNSI, PNS e PN, respectivamente. Apesar dos cenários com suplementação e combinados com soja apresentarem menor pegada de carbono que a simulação PN, a pegada hídrica e pegada de energia foi maior devido a

necessidade de grande uso destas duas fontes para produzir fertilizantes e alimentos comprados de fora da fazenda para a lavoura e para os animais.

**Palavras chaves:** pecuária, pastagem natural, suplementação, pegadas ambientais

#### 4.1 INTRODUÇÃO

Dentro do contexto mundial, os gases do efeito estufa (**GEE**), o uso da água, uso da energia e o uso da terra são grandes preocupações globais devido a necessidade da sustentabilidade dos sistemas agropecuários (Ridoutt *et al.*, 2014).

A organização das nações unidas (FAO, 2010) aponta o Brasil como um dos países com maior potencial para suprir a crescente demanda de alimentos até 2050. Diante deste cenário é preciso aumentar a produtividade por área com o objetivo de atender o aumento de 70% na demanda prevista de alimentos. No entanto, este aumento da produção deverá ocorrer de forma sustentável.

O rebanho bovino brasileiro apresenta 200 milhões de animais de acordo com o Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística (IBGE, 2013) e o estado do Rio Grande do Sul (**RS**) representa 13% deste rebanho (IBGE, 2008). O bioma Pampa, um dos seis biomas do Brasil, está localizado na região meridional do RS e nele se encontram sistemas de produção pecuária com bovinos criados em pastagens naturais e com índices de produtividade que podem variar de 60-1000 kg de peso vivo por hectare (ha) por ano dependendo do tipo de manejo implementado (Nabinger *et al.*, 2012).

Práticas de manejo realizadas no RS demonstraram que altas e moderadas ofertas de forragens (16%, 12% e 8-12%, respectivamente) emitem menor quantidade de metano por área e por kg de peso vivo produzido (Cezimbra, 2015). Também, alterações na composição da dieta e melhoria (uso de suplementação) e na qualidade nutricional da pastagem têm sido propostas como um meio de reduzir as emissões de GEE por kg de carne produzida (Ruviaro *et al.*, 2014), assim como a integração pecuária com lavoura de soja (Carvalho *et al.*, 2011).

No entanto, para avaliar a sustentabilidade ambiental dos sistemas de produção, além dos GEE é fundamental integrar todos os componentes do sistema de produção de bovinos, como o uso da água, energia. Devido a isto, este estudo foi conduzido com o objetivo de avaliar através de simulações utilizando um modelo computacional biológico, software *IntegratedFarm System Model (IFSM)* (Rotz *et al.*, 2014), a produção de GEE (CO<sub>2</sub>, CH<sub>4</sub>, NO<sub>2</sub>), o uso da água e da energia em sistemas de produção pecuária em pastagem natural (**PN**), com baixa suplementação (**PNS**) e em PNS combinada com a lavoura de soja (**PNSI**).

## 4.2 MATERIAL E MÉTODOS

A avaliação ambiental de 3 sistemas de produção do Rio Grande do Sul foi simulada utilizando o software IFSM4.2 (Rotz *et al.*, 2014) USDA-ARS, University Park, PA, USA. Aprovação do comitê de ética com o uso de animais não foi necessário, pois não foram utilizados animais.

#### 4.2.1 Descrição da propriedade avaliada

A simulação foi realizada utilizando dados reais de propriedade localizada na região da depressão central do Estado do RS, na parte sul do Brasil (S 30 ° 26 '454' 'W 53 ° 11' 024"). O clima nesta região é subtropical úmido "Cfa" de acordo com a classificação de Köppen. As simulações foram realizadas longo de 25 anos (1988-2013) de dados meteorológicos observados da estação experimental da Universidade Federal do Rio Grande do Sul (**UFRGS**), localizada na região da depressão central, distante de 151 km da fazenda avaliada. A temperatura máxima média foi de 24.7°C e mínima 13,5°C, precipitação foi 1545 milímetros/ano, a umidade foi de 81,4%, radiação solar global foi de 15,1 MJ/m<sup>2</sup>, e do vento anual foi de 1,7 m/s.

A raça utilizada na propriedade avaliada foi Angus, em sistema que contempla todo o ciclo produtivo (cria, recria e engorda), regime alimentar em pasto natural com suplementação, pastagem de inverno (*Loliummultiflorum*Lam) e integração lavoura-pecuária. Foram coletados os dados econômicos e produtivos de cinco anos (2009 até 2013) para realizar a simulação, que correspondem a sistemas representativos da região do RS.

#### 4.2.2 Descrição das simulações

As simulações foram: em pastagem natural (**PN**), pastagem natural com baixa suplementação (**PNS**) e PNS combinada com lavoura de soja (**PNSI**). Os grãos de soja produzidos foram comercializados e não utilizados na alimentação dos animais. A composição do rebanho para todas as simulações foi de 750 vacas, 157 novilhas de reposição, 566 bovinos de recria e 138 bovinos para terminação. Os animais de primeira lactação representaram 30%



das vacas. O número de animais entre as simulações foi o mesmo visando a comparação entre eles. Porém, a idade para cada animal atingir o peso vivo final de terminação (450 kg; Tabela 1), em cada cenário foi diferente devido à composição da dieta.

Área de terra, períodos produtivos, relação forragem:grão, nível de suplementação e exigências de proteína dos suplementos e peso vivo no início e final do período de terminação utilizadas nas simulações de três sistemas de produção pecuária no RS estão descritos na tabela 1. A eficiência de utilização da pastagem foi de 60% para todas simulações. No cenário PN, os animais foram criados extensivamente, recebendo um nível de suplementação que permite preencher 20% das exigências nutricionais de proteína (NRC, 2000), que é a mínima exigida pelo IFSM para animais em pastejo (Tabela 1). PNS e PNSI receberam baixa suplementação com 100% das exigências nutricionais de proteína supridas (Tabela 1). O trator utilizado para transporte e alimentação dos animais foi de 108 hp (80 kW). Nenhuma fonte de fertilizante foi utilizada nas áreas de pastagem natural.

**Tabela 1.** Área de terra, períodos produtivos, relação forragem:grão, nível de suplementação e exigências de proteína dos suplementos e peso vivo no início e final do período de terminação utilizadas nas simulações de três sistemas de produção pecuária no RS

	PN	PNS	PNSI
Área de terra (ha)			
Pastagem natural	2975	2893	2893
Soja	-	-	289.3
Períodos produtivos (meses)			
Idade ao desmame	7	7	7
Período de recria	11	10	10
Período de terminação	11	3	3
Relação forragem:grão	Alta	Alta	Alta
Nível de suplementação	Sem	Baixa	Baixa
Preenchimento das exigências de proteína pelo suplemento	20	100	100
Peso vivo (kg) de ao início do período de terminação	380	380	380
Peso vivo (kg) de ao final do período de terminação	450	450	450

No cenário PNSI, a soja foi plantada em 25 de outubro, com plantadeira de 6 linhas e com mesmo trator utilizado nos sistemas PN e PNS. Fertilizantes reativos (ou sintéticos) e defensivos químicos foram aplicados utilizando um pulverizador (9.1 m) nos dias nas datas de 15 de outubro, 14 de novembro, 4 de dezembro, 20 de dezembro e 13 de janeiro e foi utilizado o mesmo trator usados nos outros sistemas. A quantidade de fertilizante utilizado foi de 15 kg nitrogênio/ha, 90 kg de fósforo ( $P_2O_5$ )/ha, 45 kg de potássio ( $K_2O$ )/ha e com uma aplicação de calcário definida e modelada pelo software a cada 3 anos de 3,693 kg  $CACO_3$ /ha conforme o Ph e acidez trocável inseridos no modelo. A colheita foi realizada no dia 10 de março com uma colheitadeira de 6 linhas.

O solo avaliado foi argiloso, com profundidade média e níveis de fósforo no solo < 30 ppm (Tabela 2). A declividade do terreno foi definida como levemente inclinada (3-8%). As demais características físicas do solo foram descritas na tabela 2. Os valores de fixos Ph e acidez trocável foram inseridos

no IFSM de modo a possibilitar que o software não realize a compra de calcário extra para a pastagem natural e sim realize a compra de calcário somente para a lavoura de soja. Devido a isto, este valor não representa os valores reais da fazenda avaliada que são de 5.3 para Ph e 5 para a acidez trocável. No entanto, a quantidade de calcário utilizada por hectare no modelo do software foi a mesma que as recomendações agrônômicas para a região de Cachoeira do Sul na específica fazenda avaliada.

A pastagem natural utilizada nesses cenários (Tabela 3) foi composta por 77% de gramíneas C4 (predominantemente *Paspalumnotatum* *Axonopusaffinis* em estratos inferiores e *Andropogonlateralis* em estratos superiores, 20% de gramíneas C3 (*Briza* spp. and *Stipa* spp.), e 3% de leguminosas (predominantemente *Desmodiumincanum*).

O crescimento da pastagem e da lavoura expresso em toneladas por hectare, foi simulado considerando a disponibilidade de água e nutrientes no solo, assim como os dados de temperatura e radiação solar.

**Tabela 2.** Características do solo para todas simulações

	Características do solo
Capacidade de retenção de água (mm)	300
Fração de água disponível quando o stress começa	0.45
Coefficiente de evaporação do solo (mm)	5.994
Densidade aparente de solo úmido (g/cm <sup>3</sup> )	1.5
Concentração de carbono orgânico (%)	1.8
Conteúdo de partículas (%)	
Sílica	22
Argila	31
Areia	47
Número curva de escoamento w / culturas de linha	85
Perfil total do coeficiente taxa de drenagem	0.35
pH	7
Acidez trocável	3.5

**Table 3.** Características das espécies presentes na pastagem natural da fazenda avaliada no estado do RS

Características das espécies	Gramínea- 77% (C4)	Gramínea- 20% (C3)	Legume - 3%
A área foliar específica (m <sup>2</sup> /kg folha- MS)	15	20	14
Temperatura máxima fotossintética (°C)	32	35	30
Temperatura ótima fotossintética (°C)	30	20	20
Temperatura mínima fotossintética (°C)	0	0	0
Taxa fotossintética base (µmol CO <sub>2</sub> /m <sup>2</sup> /s)	30	17.06	113.64
Efeito da temperatura na fotossíntese (µmol CO <sub>2</sub> /m <sup>2</sup> /s/°C)	1.14	1.14	11.36
Coeficiente de extinção de luz	0.7	0.5	0.5
Coeficiente de utilização de radiação (g/MJ total radiação)	4.5	5	4.77
Proporção de crescimento da raiz	0.5	0.7	0.6
Coeficiente de transmissão da folha	0.1	0.1	0.1
Profundidade de enraizamento máxima (cm)	100	80	80.01
Concentração de nitrogênio máxima (%)	2.5	4.8	3.84

A qualidade nutricional da pastagem natural e dos tipos de alimentos estão descritos na tabela 4 para os cenários em pastagem natural, pastagem natural com baixa suplementação e PNS combinado com soja.

**Tabela 4.** Teor de proteína bruta (PB), proteína bruta degradável no rúmen (PBDR), fibra em detergente neutro (FDN) e nutrientes digestíveis totais (NDT) dos alimentos e da pastagem para as simulações avaliadas

	Tipo de alimento				Pastagem			
	Milho	Farelo de soja 48%	Uréia	Sal mineral	Primavera	Verão	Outono	Inverno
PB (%)	9	49	283	-	13.5	11	10	9
PBDR (%)	48	70	100	-	80.5	70	65	65
FDN (%)	14	15	-	-	63	65	65	59
NDT (%)	86	81	-	-	63.5	62	59	65

#### 4.2.3 Integrated Farm System Model 4.2

O IFSM é um modelo computacional biológico que estima o crescimento de culturas anuais e perenes, assim como o retorno dos nutrientes para o solo, prevendo os impactos ambientais e econômicos dos sistemas de produção

agropecuários. São calculados o fluxo de nutrientes nos sistemas (C, N, P, K) por hectare com objetivo de avaliar o potencial de acumulação de nutrientes no solo, bem como a perda no meio ambiente (Rotz et al., 2014)

As pegadas ecológicas avaliadas pelo modelo são: pegada de nitrogênio (kg N/kg de peso vivo ganho (PVG)); pegada de carbono (todos os GEE (CH<sub>4</sub>, N<sub>2</sub>O e CO<sub>2</sub>) em kg de equivalente CO<sub>2</sub>/kg de PVG); pegada da água (litros de H<sub>2</sub>O/kg de PVG); e pegada de energia (MJ/kg de PVG) (Rotz *et al.*, 2014).

#### 4.2.4 Estatística

Foram avaliadas as diferenças estatísticas entre as três simulações para: Nitrogênio importado e exportado (kg/ha), perdido por lixiviação (kg/ha), perdido pela desnitrificação (kg/ha); Fósforo importado e exportado (kg/ha), perda de fósforo por escoamento e lixiviados (kg/ha), por erosão (kg/ha); Potássio importado e exportado (kg/ha); Carbono importado e exportado (kg/ha), perda de carbono em dióxido de carbono (kg/ha), como metano (kg/ha) e através de escoamento (kg/ha). Também foi avaliada a pegada de carbono, pegada de nitrogênio, pegada da água e pegada da energia. Os dados foram analisados em 25 anos, sendo que o ano foi utilizado como repetição. Quando a variável não seguiu uma distribuição normal avaliada através do teste de Shapiro-Wilk ( $P < 0.005$ ), foi realizada a transformação dos dados. Entretanto, quando não foi possível transformar os dados, as variáveis foram analisadas por modelos lineares mistos generalizados, por meio do ProcGlimmix do SAS 9.1. Para melhor ajuste dos modelos, as distribuições das variáveis dependentes foram comparadas pelo critério AIC (AKAIKE, 1974).

## 4.3 RESULTADOS

### 4.3.1 Constituintes nutricionais e produtivos

A unidade utilizada na estimativa de crescimento da pastagem foi t/dia, com base no solo, água e disponibilidade de nutrientes, temperatura e radiação solar. A matéria seca (**MS**) produzida (kg of DM/ha/year) e consumida (kg of DM/ha/year) foi de 4,830 e 1,513.3 para PN, 4,820 e 1,201.52 t para PNS e, 4,800 e 1,201.52 para PNSI, respectivamente. O consumo total de matéria seca por ano, para todo o rebanho, foi de 4,538 t de MS para PN e 4,015 t de MS para PNS e PNSI. A exigências de energia, proteína e minerais, requeridos para cada categoria descritas na tabela 5, foram modelados pelo IFSM utilizando as relações de *Cornell Net Carbohydrate and Protein System*, nível 1 (Fox et al., 2004). No entanto o software permite que o usuário escolha a % de proteína no suplemento que será fornecida aos animais em pastejo. A média de consumo de suplemento para todas categorias juntas foi de 0.105% do peso vivo para os cenários PNS e PNSI. PN recebeu somente o mínimo de suplemento exigido pelo IFSM para animais em pastejo (0.006% do peso vivo).

O ganho médio diário foi de 462 g/animal/dia para PNS/PNSI e 329 g para PN. A produtividade animal foi de 65 kg/ha/ano (PN) e 95 kg/ha/ano (PNS e PNSI), e a produtividade de soja foi de 2.56 t de MS/ha/ano.

**Tabela 5.** Consumo de concentrado-CC (toneladas de MS/ano) para os cenários em pastagem natural (PN), pastagem natural com baixa suplementação (PNS) e PNS combinado com soja (PNSI)

CC (toneladas de MS/ano)	Tipos de alimentos			
	Milho	Farelo de soja 48%	Uréia	Sal mineral
PN	7	-	-	29
PNS	497	4	13	25
PNSI	497	4	13	25

### 4.3.2 Fluxo de nutrientes no sistema

A perda de carbono através do metano por ha foi 10% menor ( $P < 0.001$ ) em PNSI e PNS em comparação ao sistema PN. Em contrapartida a perda de carbono por escoamento foi maior ( $P < 0.0001$ ) em PNSI em comparação as outras simulações (Tabela 6).

Na tabela 6 é possível observar que no sistema de produção PNSI e PNS a importação de nitrogênio foi 105% e 11% maior ( $P < 0.001$ ), respectivamente, em comparação ao sistema PN. PNSI e PNS obtiveram 1050% e 75% a mais ( $P < 0.001$ ), respectivamente, nitrogênio exportado/ha em comparação a PN, o que está relacionado com uma maior venda de produtos agropecuários pelos sistemas. PNSI teve 57% e 38% maiores ( $P < 0.001$ ) perdas de nitrogênio por lixiviação/ha quando comparados com PN e PNS, respectivamente. Em relação ao nitrogênio perdido por desnitrificação/ha, PNSI obteve 37 e 29 % menores perdas ( $P < 0.001$ ) em comparação a PN e PNS, respectivamente, tendo o PNS como intermediário (Tabela 6).

O fósforo e potássio importado/ha e exportado/ha teve maior magnitude ( $P < 0.0001$ ) em PNSI comparado com PNS e por último PN (Tabela 6).

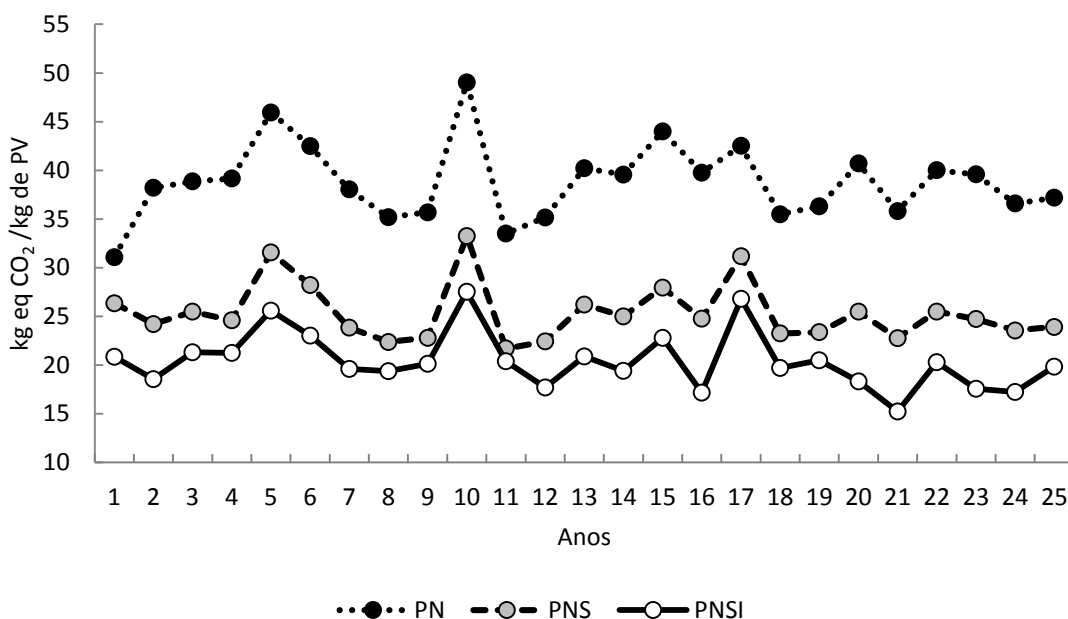
**Tabela 6.** Fluxo de nutrientes dos sistemas  $\pm$  desvio padrão nos cenários em pastagem natural (PN), pastagem natural suplementada (PNS) e PNS com soja (PNSI) ao longo de 25 anos de avaliação meteorológica

kg/ha	Simulações		
	PN	PNS	PNSI
Carbono importado	1824.4 $\pm$ 436.6 <sup>c</sup>	1875.9 $\pm$ 437.2 <sup>b</sup>	2378.1 $\pm$ 428.3 <sup>a</sup>
Carbono exportado	13.3 $\pm$ 0.0 <sup>c</sup>	22.8 $\pm$ 0.0 <sup>b</sup>	134.6 $\pm$ 13.4 <sup>a</sup>
Perda de carbono como o metano	26.6 $\pm$ 0.2 <sup>a</sup>	23.7 $\pm$ 0.0 <sup>b</sup>	23.7 $\pm$ 0.0 <sup>b</sup>
Perda de carbono através de escoamento e lixiviação	1.2 $\pm$ 0.4 <sup>b</sup>	1.2 $\pm$ 0.4 <sup>b</sup>	1.9 $\pm$ 0.6 <sup>a</sup>
Nitrogênio importado	46.0 $\pm$ 4.2 <sup>c</sup>	51.1 $\pm$ 4.2 <sup>b</sup>	94.4 $\pm$ 13.2 <sup>a</sup>
Nitrogênio exportado	1.6 $\pm$ 0.0 <sup>c</sup>	2.8 $\pm$ 0.0 <sup>b</sup>	18.4 $\pm$ 1.9 <sup>a</sup>
Nitrogênio perdido por lixiviação	46.9 $\pm$ 25.0 <sup>b</sup>	53.3 $\pm$ 25.5 <sup>b</sup>	74.0 $\pm$ 23.9 <sup>a</sup>
Nitrogênio perdido pela desnitrificação	12.4 $\pm$ 2.7 <sup>a</sup>	10.9 $\pm$ 2.6 <sup>b</sup>	7.7 $\pm$ 2.0 <sup>c</sup>
Fósforo importado	1.2 $\pm$ 0.1 <sup>c</sup>	1.6 $\pm$ 0.1 <sup>b</sup>	5.0 $\pm$ 0.1 <sup>a</sup>
Fósforo exportado	0.5 $\pm$ 0 <sup>c</sup>	0.8 $\pm$ 0.0 <sup>b</sup>	2.2 $\pm$ 0.2 <sup>a</sup>
Perda de fósforo por escoamento e lixiviados	0.8 $\pm$ 0.3 <sup>b</sup>	0.8 $\pm$ 0.3 <sup>b</sup>	1.2 $\pm$ 0.5 <sup>a</sup>
Potássio importado	4.3 $\pm$ 0.0 <sup>c</sup>	5.1 $\pm$ 0.0 <sup>b</sup>	8.0 $\pm$ 0.0 <sup>a</sup>
Potássio exportado	0.1 $\pm$ 0.0 <sup>c</sup>	0.2 $\pm$ 0.0 <sup>b</sup>	4.4 $\pm$ 0.5 <sup>a</sup>

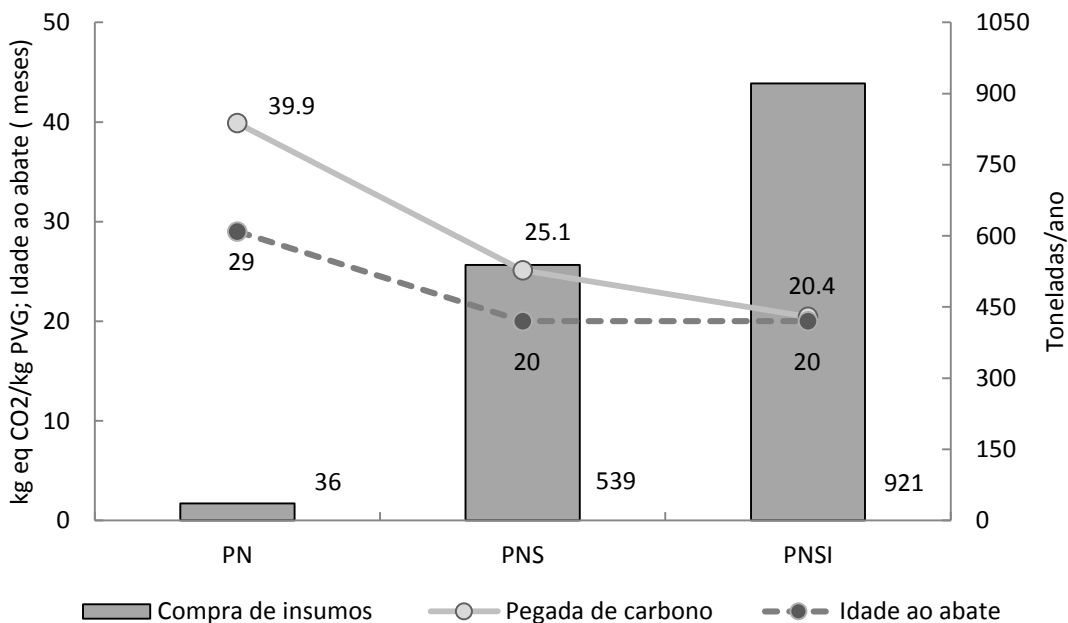
#### 4.3.4 Pegadas ecológicas

A pegada de carbono (**PC**; kg de equivalente CO<sub>2</sub> biogênico/kg PVG) apresentou diferença significativa ( $P < 0.0001$ ) entre as simulações avaliadas (Figura 1; Tabela 7). A simulação PNSI apresentou 45% e 17% menor PC em comparação a PN e PNS. O PNS obteve 36% menor PC em comparação a PN. A figura 2 demonstra a diminuição da idade ao abate dos 29 para 20 meses, foi possível devido a suplementação, que levou a uma consequente diminuição da pegada de carbono, mesmo com uma compra maior de insumos por PNS (compra suplemento) e PNSI (compra de suplemento + fertilizantes para lavoura).





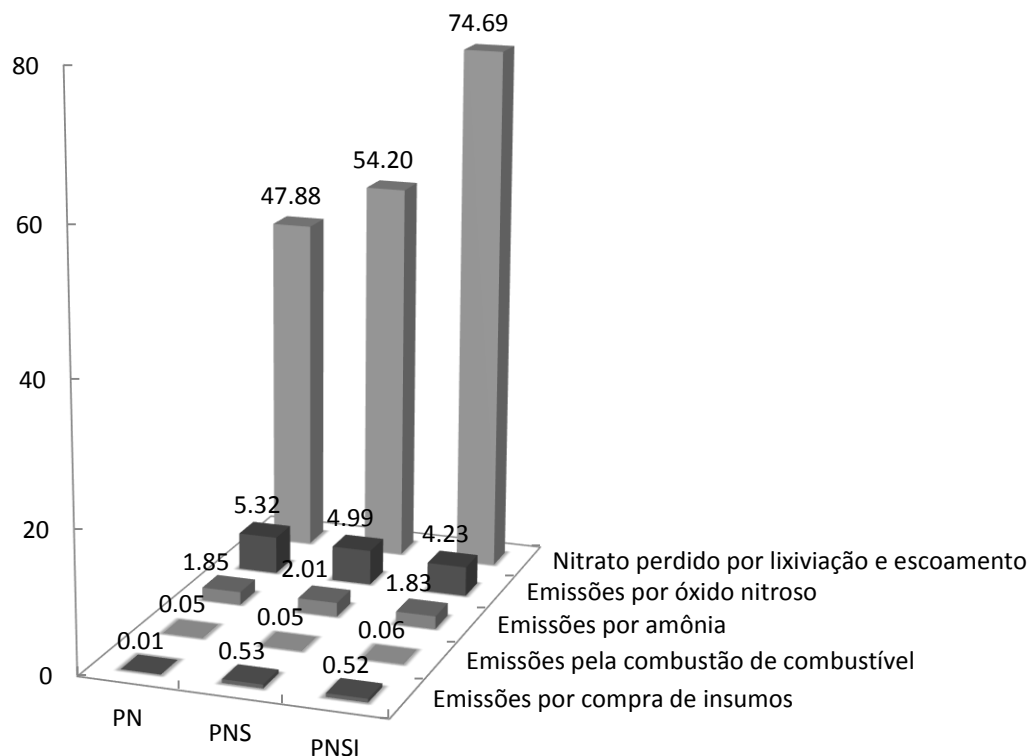
**Figura 1.** Pegada de carbono biogênico (kg CO<sub>2</sub>/kg PVG) ao longo de 25 anos em pastagem natural (PN), pastagem natural suplementada (PNS) e PNS com soja (PNSI); As simulações apresentaram diferença estatística ( $P < 0.0001$ ) na média dos 25 anos observados.



**Figura 2.** Pegada de carbono biogênico (kg CO<sub>2</sub>/kg PVG) em relação a idade ao abate e compra de insumos (t/ano) pelas simulações em pastagem natural (PN), pastagem natural suplementada (PNS) e PNS com soja (PNSI)

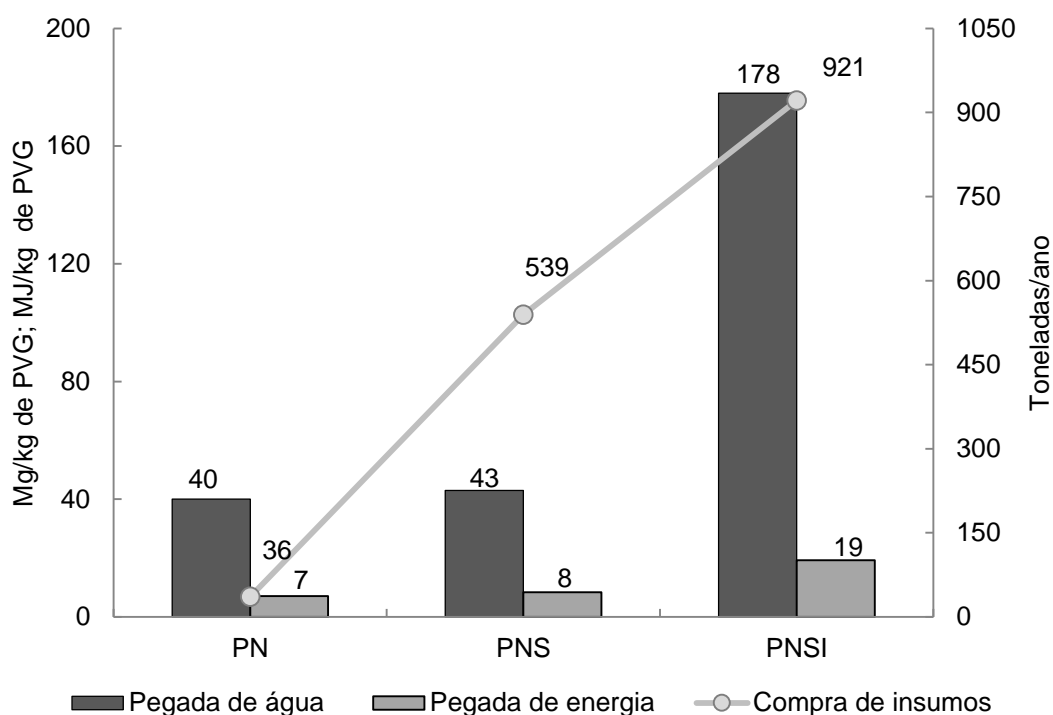
Na Tabela 7, pode-se observar as contribuições das emissões dos GEE (kg de equivalente CO<sub>2</sub>/ha) para a PC. A PC foi menor em PNS e PNSI, pois estas duas simulações apresentaram menores emissões/ha pelos animais e durante a produção de alimento na fazenda, quando comparados a PN. Por outro lado, apresentaram maiores emissões de GEE (kg de equivalente CO<sub>2</sub>/ha) devido a compra de insumos externos ao sistema.

Foi observado 10% e 44% maior ( $P < 0.0001$ ; média de 25 anos) pegada de nitrogênio (gramas N/kg peso vivo ganho (**PVG**)) para PNSI em comparação a PN e PNS, respectivamente, demonstrados na Tabela 7. Isto foi devido a maiores perdas de N/ha por lixiviação e escoamento (Figura 3). Independente do sistema avaliado, a pegada de nitrogênio (g N/kg PVG) foi impactada principalmente pelas perdas de nitrato por lixiviação e escoamento, seguida por emissões de óxido nitroso, emissões de amônia, seguida por emissões por entrada de insumos que foram comprados e emissões pela combustão de combustível como demonstrado na figura 3.



**Figura 3.** Componentes em kg/ha que contribuem para as perdas por nitrogênio, expresso em g N/kg PVG para as simulações em pastagem natural (PN), pastagem natural suplementada (PNS) e PNS com soja (PNSI)

Conforme a figura 4, a pegada de energia (MJ/kg PVG) e a pegada da água (kg de água/kg PVG) aumentaram ( $P < 0.001$ ) conforme a maior uso de insumos comprados para suplementação (PNS e PNSI) e fertilizantes (PNSI), com valores que variaram de 7 até 19 MJ de energia/kg PVG e 40 até 178 Mg de água/kg PVG (figura 4 e tabela 7).



**Figura 4.** Pegada de água (Mg/kg PVG) e da energia (MJ/kg PVG) em relação aos kg de insumos comprados (T/ha) nos sistemas de produção em pastagem natural (PN), pastagem natural com baixa suplementação (PNS) e PNS com integração com soja (PNSI)

O componente da tabela 7 que mais contribuiu para uma maior pegada de água para PNSI foi a compra fertilizantes para lavoura que necessitaram um maior uso de água para produção deste insumo. PNSI apresentou 345% e 313% maior ( $P < 0.0001$ ) pegada de água do que PN e PNS, respectivamente.

Com relação à pegada de energia, esta foi, para PNSI, 171% e 129% maior ( $P < 0.0001$ ) que PN e PNS, respectivamente. Isto ocorreu devido a uma alta contribuição do maior uso energia devido a compra de insumos externos. Foram necessários 681% e 169% maior uso de energia para a produção dos insumos externos comprados para PNSI em comparação a PN e PNS, respectivamente (Figura 4 e tabela 7).

**Tabela 7.** Emissões de gases do efeito estufa (GEE), perdas por nitrogênio, uso de energia, uso da água e pegadas ambientais  $\pm$  desvio padrão nas simulações avaliadas

	PN	PNS	PNSI
Emissões por GEE (kg de equivalente CO <sub>2</sub> /ha)			
Emissões pelos animais	871.4	776.4	776.4
Emissões pelas fezes	14.7	12.6	12.6
Emissões na produção de pastagem e lavoura	1799.4	1650.5	1037.5
Emissões biogênicas líquidas de CO <sub>2</sub>	-150.4	-174.8	-161.8
Emissões antropogênicas de CO <sub>2</sub>	17.6	17.6	53.8
Emissões provenientes dos insumos comprados	15.8	84.8	106.1
Total/ha	2568.4	2367.0	1824.6
Pegada de carbono (kg de eq CO <sub>2</sub> biogênico/kg PVG)	39.90 $\pm$ 6.10 <sup>a</sup>	25.10 $\pm$ 3.99 <sup>b</sup>	20.50 $\pm$ 2.88 <sup>c</sup>
Perdas por nitrogênio (kg de N/ha)			
Emissões por amônia	1.8	2.0	1.8
Nitrato perdido por lixiviação e escoamento	47.9	54.2	74.7
Emissões por óxido nitroso	5.3	5.0	4.2
Emissões pela combustão de combustível	0.05	0.05	0.1
Emissões provenientes dos insumos comprados	0.01	0.53	0.5
Total/ha	55.1	61.8	81.3
Pegada de nitrogênio (g/kg PVG)	856.80 $\pm$ 407.40 <sup>b</sup>	655.10 $\pm$ 277.5 <sup>c</sup>	948.50 $\pm$ 285.10 <sup>a</sup>
Uso da água (Mg/ha)			
Produção da pastagem ou lavoura	5340.7	5337.8	4415.3
Água consumida pelos animais	2.3	3.9	3.5
Compra de alimentos e insumos	0.2	0.2	11.7
Total/ha	5343.2	5341.9	4430.6
Pegada da água sem a chuva (kg/kg PVG)	40.00 $\pm$ 2.00 <sup>c</sup>	43.00 $\pm$ 1.00 <sup>b</sup>	178.00 $\pm$ 3.00 <sup>a</sup>
Uso da energia (MJ/kg PVG)			
Produção de alimento na fazenda	245.2	245.8	229.9
Alimentação dos animais	10.8	10.8	10.8
Luz utilizada nas instalações	22.0	16.4	16.4
Compra de alimentos e insumos	179.4	520.8	1402.0
Total/ha	457.4	793.8	1659.1
Pegada de energia (MJ/kg PVG)	7.11 $\pm$ 0.37 <sup>c</sup>	8.42 $\pm$ 0.09 <sup>b</sup>	19.32 $\pm$ 0.35 <sup>a</sup>

#### 4.4 DISCUSSÃO

A pegada de carbono estimada neste estudo variou de 39,90 (PN), 25,10 (NPS) e 20,50 (NPSI) kg de CO<sub>2</sub> eq / kg PVG e foi semelhante a estudo realizado por Ruviaro *et al.* (2014) 18,30-42,60 kg CO<sub>2</sub> eq / kg PVG que trabalhou com animais em pastagem natural, cultivada ou com suplementação no sul do Brasil (RS). Também, resultados semelhantes deste estudo para PC de sistemas de produção de carne bovina no Japão (Ogino *et al.*, 2004), Suécia (Koneswaran e Nierenberg, 2008) e no Brasil (Cederberg *et al.*, 2009), com valores variando de 22,8 kg de CO<sub>2</sub>eq / kg PVG a 32,3 kg de CO<sub>2</sub>eq / kg PVG.

Bovinos no Brasil criados em pastagens com terminação intensiva em confinamento apresentaram 19,6% menor pegada de carbono em comparação com sistemas de criação em pastagens melhoradas e suplementados na recria e engorda (Cardoso, 2012). Assim como Vergé *et al.* (2008), onde relataram que a diminuição de 40% na PC dos anos de 1981 (16,6 kg eq CO<sub>2</sub> / kg PV) para o ano de 2006 foi devido a uma mudança da produção extensiva de gado de corte em pastagem para produção em confinamento intensivo. Isto pode estar relacionado a reduções das emissões de CH<sub>4</sub> com um aumento na proporção de concentrado na dieta (Aguerre *et al.*, 2011; Sauvant and Giger-Reverdin, 2009).

Neste estudo foi obtido menores PC por kg de PVG bem com menores emissões de GEE por hectare para PNS e PNSI em comparação a PN. No entanto este resultado difere de inúmeros trabalhos (Monteiro, 2009; Cardoso, 2012; Hristov *et al.*, 2013) com relação as emissões de GEE por hectare, pois os autores demonstraram que quando aumentamos a produtividade por área

com pastagens de melhor qualidade e altos níveis de suplementação com grão, geralmente geram maiores emissões de GEE por hectare, mas menor PC por kg de carne produzida. O que ocorreu neste estudo foi provavelmente devido a que foram utilizados baixos níveis de suplementação, que apesar de serem capazes de gerar uma maior produtividade/ha, não foram capazes de aumentar as emissões por área (hectare). Outra hipótese é que o suplemento ingerido foi capaz de gerar fezes que serviram de adubo de melhor qualidade, gerando uma maior fotossíntese pela planta e maior captação de carbono, gerando menor PC para as simulações PNS e PNSI em comparação a PN. No entanto, a maior contribuição para a diminuição da PC foi devido a suplementação, apesar de ser possível observar que a soja também foi capaz de captar carbono gerando diminuição da PC.

A redução nas emissões de GEE por unidade de produto em função da intensificação dos sistemas de produção é explicada pela redução da idade de abate (como no presente trabalho), maior ganho de peso e produtividade por hectare dos animais, menor produção de metano em dietas com grãos e suplemento (como no presente estudo), maior capacidade de suporte da fazenda, maior produção absoluta de carne e maior produtividade por área (Pelletier *et al.*, 2010). Quando ainda combinado com a soja, também foi possível uma redução significativa na PC. Isto é explicado pois as culturas de soja podem aumentar a absorção de N na planta e reduzir da acumulação de  $\text{NO}_3$  e, assim, diminuir a produção de  $\text{N}_2\text{O}$  por meio de desnitrificação. Como consequência, poderá reduzir as emissões de gases de efeito estufa (Heichel e Helsel, 1987).

O sistema de produção pecuária em pastagens naturais com suplementação e combinado com lavoura de soja apresentou maiores quantidades/ha de nitrogênio (**N**) e fósforo (**P**) importados, exportados e maiores perdas por lixiviação comparação as outras simulações. Isto pode ser explicado, pois quanto maior for aplicação destes elementos no solo ou substrato, maior será a possibilidade de geração de resíduos, e maior o potencial de perdas para solo e para água por lixiviação de nitrogênio (De Araújo *et al.*, 2004) e fósforo (Schick *et al.*, 2000).

Apesar de PNSI apresentar maior pegada de nitrogênio (kg N/kg PVG), as perdas por desnitrificação foram menores em comparação com PN e PNS, pois a soja, que é uma leguminosa, através de sua relação simbiótica com bactérias do gênero *Rhizobium*, que fixam o nitrogênio atmosférico, convertendo-a em  $\text{NH}_4^+$ , que é, por conseguinte, incorporada na planta como AA e proteínas. Assim, a inclusão de leguminosas na troca de culturas e consequente incorporação de resíduos de leguminosas em solos agrícolas podem aumentar o N inorgânico disponível para as plantas e o N orgânico para o solo (Heichel e Helsel, 1987). Culturas como a soja podem aumentar a absorção de N na planta e diminuir o acúmulo de  $\text{NO}_3^-$  e, assim, reduzir a produção de  $\text{N}_2\text{O}$  através de desnitrificação, podendo diminuir as emissões de GEE.

PNS apresentou maiores perdas por hectare de N por lixiviação e escoamento em comparação a PN, isto provavelmente ocorreu devido a maior concentração de nutrientes nas fezes e urina, devido a suplementação. Mas, a pegada do nitrogênio (kg N/kg PVG) foi menor para PNS em comparação a PN,



também devido a suplementação que pode ter gerado um ambiente ruminal mais adequado, gerando menor pegada de nitrogênio. Do ponto de vista ambiental, melhorias na produtividade, como diminuição da idade ao abate, sugerem que o alimento oferecido ao animal fará com que o animal produza o mesmo ou mais do produto (Hristov *et al.*, 2013) com menos emissões GEE/ kg de produto. Assim, quando o desempenho animal foi aumentado em PNS, foram necessários menores g de N para produzir um kg PVG.

No entanto, quando se avalia a sustentabilidade ambiental de um sistema de produção, esta não deve ser avaliada somente sobre o prisma de GEE por kg de carne ou produto produzido (Ridoutt *et al.*, 2014). Trabalhos demonstram que os sistemas intensificados apresentam menor PC (Monteiro, 2009; Cardoso, 2012), entretanto, maior pegada de água (Mekonnen e Hoekstra, 2010; Mekonnen e Hoekstra, 2012) devido ao maior “input” para dentro do sistema, uso de irrigação, entre outros, como também maior pegada de energia. Na presente pesquisa foi exatamente isto que aconteceu, onde sistemas com maior aporte de insumos apresentaram maior pegada de água e energia.

Mekonnen e Hoekstra (2010) reportaram que a maior parte do volume total de água (98%) utilizada refere-se à pegada de água (kg H<sub>2</sub>O/kg PVG) proveniente do alimento oferecido para o animal, já a água consumida e outros serviços contam com 2%. Segundo Chapagain e Hoekstra (2003), a pegada hídrica das atividades pecuárias varia muito entre países, sistemas de produção e distribuição geográfica. Por isto, é possível encontrar valores de pegada hídrica de 564 e 1,083L H<sub>2</sub>O /kg PVG para operações de cria e

confinamento nos EUA (Rotz *et al.*, 2013) e valores de 41.4 e 46.6 L H<sub>2</sub>O /kg PVG em sistema de produção australiano (Ridoutt *et al.*, 2012). Valores estes parecidos com os do presente trabalho em pastagem natural no sul do Brasil (39.43 a 115 L H<sub>2</sub>O /kg PVG).

Rotz *et al.* (2013), avaliaram as pegadas ambientais de bovinos comparando o ano de 2011 com 1970, em um centro de pesquisa no Clay Center, Nebraska. Os autores observaram que em comparação com 1970 a PC diminuiu 6 %, mas sem mudanças no uso da energia. Houve 3% redução da pegada de nitrogênio e 6 % nos custos de produção, entretanto, a pegada da água aumentou em 42%, devido principalmente a irrigação utilizada pelo sistema de produção.

Rotz *et al.* (2013) demonstram a importância da avaliação do sistema de produção como um todo e levando em conta todas as pegadas ambientais, pois somente assim torna-se possível uma melhor tomada de decisão sobre como produzir carne, ter um bom retorno econômico da atividade e ao mesmo tempo ser ambientalmente sustentável.

Deve-se levar em consideração que o IFSM não leva em conta a perda de biodiversidade devido a troca de cultura (pastagem natural para cultivo de soja), nem imputa as emissões relativas a mudança do uso da terra. Com isto, torna-se necessário refletir sobre como estamos utilizando o nosso sistema de produção, para que este possa realmente ser considerado ambientalmente sustentável.

#### 4.5 CONCLUSÃO

Nas condições avaliadas, não foi possível representar todo o potencial da produtividade animal empastagem natural no RS, atingindo índices de produtividade abaixo de seu potencial, que podem ter influenciado nos valores da pegada de carbono.

Apesar disto, a diminuição da idade ao abate (de 29 meses para 20 meses) e uma maior produtividade animal por hectare, possibilitou uma menor pegada de carbono para PNSI e PNS quando comparado a PN e ainda, quando o sistema é combinado com a soja, permitiu diminuir as perdas por desnitrificação apesar de obter uma maior pegada de nitrogênio devido a maior lixiviação de nitrogênio para PNSI em comparação a PN e PNS. Entretanto, os sistemas com maiores *inputs* devido à compra de matérias primas para alimentação animal e fertilizantes, apresentaram uma maior pegada hídrica (Mg de água/kg de PVG) como também, maior pegada de energia (MJ de energia/kg de PVG) nas condições das 3 simulações avaliadas.

#### 4.6 LITERATURA CITADA

- Aguerre, M. J., M. A. Wattiaux, J. M. Powell, G. A. Broderick, and C. Arndt. 2011. Effect of forage-to-concentrate ratio in dairy cow diets on emission of methane, carbon dioxide, and ammonia, lactation performance, and manure excretion. *Journal of Dairy Science* 94: 3081-3093.
- AKAIKE, H. 1973. Information theory as an extension of the maximum likelihood principle. . Second International Symposium on Information Theory. In: Petrov BN, Csaki F (eds); Budapest, Akademiai Kiado 267:281.
- Cardoso, A. d. S. 2012. Avaliação das emissões de gases de efeito estufa em diferentes cenários de intensificação de uso das pastagens no Brasil Central. Dissertação de mestrado.

- Carvalho, P. C. d. F. et al. 2011. Experiências de integração lavoura-pecuária no Rio Grande do Sul. *Synergismusscyentifica UTFPR* 6(2).
- Cederberg, C., D. Meyer, and A. Flysjö. 2009. Life cycle inventory of greenhouse gas emissions and use of land and energy in Brazilian beef production. SIK-Institutet för livsmedel och bioteknik.
- Cezimbra, I. M. 2015. Emissão de metano por bovinos sob níveis de oferta de forragem em pastagem nativa do Bioma Pampa, UNIVERSIDADE FEDERAL DO RIO GRANDE DO SUL.
- Chapagain, A. K., and A. Hoekstra. 2003. Virtual water flows between nations in relation to trade in livestock and livestock products. UNESCO-IHE Delft. Research Report Series N° 13.
- De Araújo, A. R., J. L. N. Carvalho, L. R. G. Guilherme, N. Curi, and J. J. Marques. 2004. Movimentação de nitrato e amônio em colunas de solo. *Ciênc. agrotec.* 28:3.
- FAO. 2010. An international consultation on integrated crop-livestock systems for development: The way forward for sustainable production intensification. Food and Agriculture Organization of the United Nations 13: 1-79.
- Fox, D. G. et al. 2004. The Cornell Net Carbohydrate and Protein System model for evaluating herd nutrition and nutrient excretion. *Animal Feed Science and Technology* 112: 29-78.
- Heichel, G., and Z. Hessel. 1987. Legume nitrogen: symbiotic fixation and recovery by subsequent crops. *Energy in plant nutrition and pest control. Energy in World Agriculture*, 2.: 63-80.
- Heller, M. C., and G. A. Keoleian. 2011. Exploring a water/energy trade-off in regional sourcing of livestock feed crops. *Environmental Science and Technology* 45: 10619-10626.
- Hristov, A. et al. 2013. Special Topics—mitigation of methane and nitrous oxide emissions from animal operations: I. A review of enteric methane mitigation options. *Journal of Animal Science* 91: 5045-5069.
- IBGE. 2008. Automatic System Recovery e SIDRA. Brazilian Institute of Geography and Statistics.

- IBGE. 2013. Automatic System Recovery e SIDRA. Brazilian Institute of Geography and Statistics.
- Koneswaran, G., and D. Nierenberg. 2008. Beef production: Koneswaran and Nierenberg respond. *Environmental health perspectives* 116: 375.
- Mekonnen, M., and A. Hoekstra. 2010. The green, blue and grey water footprint of farm animals and animal products. *Research Report Series N° 48*.
- Mekonnen, M., and A. Hoekstra. 2012. A Global Assessment of the Water Footprint of Farm Animal Products. *Ecosystems* 15: 401-415.
- Monteiro, R. B. N. C. 2009. Desenvolvimento de um modelo para estimativas da produção de gases de efeito estufa em diferentes sistemas de produção de bovinos de corte. Tese de doutorado. Escola Superior de Agricultura Luiz de Queiroz.
- Nabinger, C., E. T. Ferreira, A. K. d. Freitas, P. C. d. F. Carvalho, and D. M. Sant'Anna. 2012. Campos Sulinos-conservação e uso sustentável da biodiversidade- Produção animal com base no campo nativo:aplicações de resultados de pesquisa. Ministério do MeioAmbiente-MMA.
- NRC. 2000. *Nutrient Requirements of Beef Cattle: Seventh Revised Edition*. 248 pages.
- Ogino, A., K. Kaku, T. Osada, and K. Shimada. 2004. Environmental impacts of the Japanese beef-fattening system with different feeding lengths as evaluated by a life-cycle assessment method. *Journal of Animal Science* 82: 2115-2122.
- Oom, S., A. Sibbald, A. Hester, D. Miller, and C. Legg. 2008. Impacts of sheep grazing a complex vegetation mosaic: relating behaviour to vegetation change. *Agriculture, Ecosystems & Environment* 124: 219-228.
- Pelletier, N., R. Pirog, and R. Rasmussen. 2010. Comparative life cycle environmental impacts of three beef production strategies in the Upper Midwestern United States. *Agricultural Systems* 103: 380-389.
- Pfister, S., P. Bayer, A. Koehler, and S. Hellweg. 2011. Environmental Impacts of Water Use in Global Crop Production: Hotspots and Trade-Offs with Land Use. *Environmental Science & Technology* 45: 5761-5768.

- Ridoutt, B. 2011. Development and Application of a Water Footprint Metric for Agricultural Products and the Food Industry. In: M. Finkbeiner (ed.) *Towards Life Cycle Sustainability Management*. p 183-192. Springer Netherlands.
- Ridoutt, B., P. Sanguansri, M. Freer, and G. Harper. 2012. Water footprint of livestock: comparison of six geographically defined beef production systems. *Int J Life Cycle Assess* 17: 165-175.
- Ridoutt, B. G., G. Page, K. Opie, J. Huang, and W. Bellotti. 2014. Carbon, water and land use footprints of beef cattle production systems in southern Australia. *Journal of Cleaner Production* 73: 24-30.
- Rotz, C. A. et al. 2014. The Integrated Farm System Model. United States Department of Agriculture (USDA). Pasture Systems and Watershed Management Research Unit. Agricultural Research Service. Available at: <http://www.ars.usda.gov/sp2UserFiles/Place/80700500/Reference%20Manual.pdf>
- Rotz, C. A., B. J. Isenberg, K. R. Stackhouse-Lawson, and E. J. Pollak. 2013. A simulation-based approach for evaluating and comparing the environmental footprints of beef production systems. *Journal of Animal Science* 91: 5427-5437.
- Ruviaro, C. F., C. M. de Léis, V. d. N. Lampert, J. O. J. Barcellos, and H. Dewes. 2014. Carbon footprint in different beef production systems on a southern Brazilian farm: a case study. *Journal of Cleaner Production*. 96:435-443.
- SAS Institute Inc. 2011. SAS 9.3 Software. Cary, NC: SAS Institute Inc.
- Sauvant, D., and S. Giger-Reverdin. 2009. Modélisation des interactions digestives et de la production de méthane chez les ruminants. *Productions animales* 22: 375.
- Schick, J., I. Bertol, A. Balbinot Junior, and O. Batistela. 2000. Erosão hídrica em Cambissolo Húmico alumínico submetido a diferentes sistemas de preparo e cultivo do solo: II. Perdas de nutrientes e carbono orgânico. *Bras. Ci. Solo* 24: 437-447.

Vergé, X., J. Dyer, R. Desjardins, and D. Worth. 2008. Greenhouse gas emissions from the Canadian beef industry. *Agricultural Systems* 98: 126-134.

## **CAPÍTULO IV**



## 5. CONSIDERAÇÕES FINAIS

Nas condições avaliadas, não foi possível representar todo o potencial da produtividade animal em pastagem natural no RS, atingindo índices duas a três vezes menores na modelação com o software em comparação a dados reais de sistemas de produção do RS. Isto pode ser explicado, pois apesar do software simular multi-espécies forrageiras na mesma área, o mesmo foi parametrizado para cenários específicos dos EUA.

No entanto, resultados desta pesquisa demonstram que o aumento do ganho médio diário através da suplementação em pastagem natural pode ser considerada uma prática de baixo impacto ambiental, por emitir menores quantidades de GEE por kg de carne produzida e também por área e por apresentar menores perdas por nitrogênio ao sistema em comparação a animais somente em pastagem natural. Além de apresentar maior retorno econômico da atividade, devido ao aumento da produtividade por área e diminuição da idade ao abate.

A soja quando combinada com animais suplementados em pastagem natural auxiliou na mitigação de GEE, diminuindo a pegada de carbono, apesar de apresentar maiores perdas por nitrogênio devido a maior lixiviação em comparação as outras simulações avaliadas. Este cultivo da soja na média dos anos avaliados (2009-2013) também demonstrou-se como uma ótima alternativa para se obter um maior lucro líquido ao produtor rural, devido a soja ser uma commodity de alto valor de mercado.

No entanto, apesar do sistema combinado com soja demonstrar-se com uma menor pegada de carbono, o IFSM não leva em conta a perda de biodiversidade devido a troca de cultura (pastagem natural para cultivo de soja), nem imputa as emissões relativas a mudança do uso da terra, como no caso de plantar soja no local onde existe pastagem natural. Com isto, torna-se necessário refletir sobre como estamos utilizando o nosso sistema de produção, para que este possa realmente ser considerado ambientalmente sustentável.

Foi possível verificar que todas as atividades que exigem uma maior compra de insumos externos para serem inseridos no sistema de produção, bem como o uso de máquinas agrícolas, irão gerar um maior uso de água e energia pelo sistema. Este uso, quando indiscriminado, poderá prejudicar o meio ambiente e ainda aumentar os GEE devido à excessiva intensificação do sistema.

Para futuras pesquisas torna-se importante criar e validar modelos matemáticos específicos para a simulação da sustentabilidade dos sistemas de produção do estado do RS, para que seja possível obter dados mais próximos da realidade do sistema.

## 6.REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- AKAIKE, H. Information theory as an extension of the maximum likelihood principle. In: INTERNATIONAL SYMPOSIUM ON INFORMATION THEORY, 2., 1973, Budapest, Akademiai Kiado. [**Proceedings**]. Budapest, 1973. p.267–281
- BOUWMAN; A.F. et al. Exploring changes in world ruminant production systems. **Agricultural Systems**, Oxon, England, v. 84, p.121–53, 2005.
- CANELLAS, L. C. et al. Estimativa de custos de três sistemas alimentares para a recria de novilhas acasaladas aos 18 meses de idade. **Acta scientiae veterinariae**, Porto Alegre, v. 38, n. 1, p. 1-10, 2010.
- CARVALHO, P. C. D. F. et al. Experiências de integração lavoura-pecuária no Rio Grande do Sul. **Synergismusscientifica**, Pato Branco, Paraná, v. 6, n. 2, 2011.
- CHAPAGAIN, A. K.; HOEKSTRA, A. Virtual water flows between nations in relation to trade in livestock and livestock products. **Institute for water education**, UNESCO-IHE Delft, The Netherlands, 2003.
- CORSON, M. S.; ROTZ, C. A.; SKINNER, R. H. Evaluating warm-season grass production in temperate-region pastures: a simulation approach. **Agricultural Systems**, Oxon, England, v. 93, n. 1, p. 252-268, 2007.
- CORSON, M. S. et al. Adaptation and evaluation of the integrated farm system model to simulate temperate multiple-species pastures. **Agricultural Systems**, Oxon, England, v. 94, n. 2, p. 502-508, 2007.
- COP15. **Fifteenth session of the conference of the parties**. 2009. Disponível em: <[http://unfccc.int/meetings/copenhagen\\_dec\\_2009/session/6262/php/view/reports.php](http://unfccc.int/meetings/copenhagen_dec_2009/session/6262/php/view/reports.php)>. Acesso em: 10 de setembro, 2015.
- CLARK, H., PINARES-PATIÑO, C. ;DE KLEIN, C.A.M. Methane and nitrous oxide emissions from grazed grasslands. In: GRASSLAND: A global resource. Plenary and Invited Papers from the XX International Grassland Congress Dublin Ireland 26 June-1 July 2005. Wageningen: Academic Publishers, 2005. p. 279-293.
- CHOW, J.; KOPP, R.J.; PORTNEY, P.R. Energy resources and global development. **Science**, Washington, v.302, n.5650, p.1528–1531, 2003.
- CRUTZEN, P.J. The role of methane in atmospheric chemistry and climate. In: RUMINANT physiology: digestion, metabolism, growth and reproduction. Ferdinand: Enke Verlag, 1995. p.291-316.

DE KLEIN C.A.M., PINARES-PATIÑO C.S.; WAGHORN, G.C. Greenhouse gas emissions. In: MCDOWELL, R.W (Ed.) **Environmental Impacts of Pasturebased Farming**. Wallingford, UK.: CAB International, 2008. Chapter 1. p. 1-32.

FAO. **An international consultation on integrated crop-livestock systems for development**: the way forward for sustainable production intensification. Rome; Food and Agriculture Organization of the United Nations, 2010.

HEICHEL, G.; HELSEL, Z. Legume nitrogen: symbiotic fixation and recovery by subsequent crops. Energy in plant nutrition and pest control. **Energy in World Agriculture**, Rockville, MD, USA, v.2, p. 63-80, 1987.

HOEKSTRA, A.Y. (Ed.) **Virtual water trade**: Proceedings of the International Expert Meeting on Virtual Water Trade, Delft, The Netherlands, 12-13 December 2002, Value of Water Research Report Series No.12, UNESCO-IHE, Delft, The Netherlands. 2003. Disponível em: <[www.waterfootprint.org/Reports/Report12.pdf](http://www.waterfootprint.org/Reports/Report12.pdf)> Acesso em: 15 Fev.2010

HOEKSTRA, A.Y.; CHAPAGAIN, A.K. Water footprints of nations: water use by people as a function of their consumption pattern. **Water Resources Management**, v.21v.15, p. 35–48, 2007.

HOEKSTRA, A.Y. AND CHAPAGAIN, A.K. **Globalization of water**: Sharing the planet's freshwater resources. Oxford, UK: Blackwell Publishing, 2008.

HOEKSTRA, A. Y. et al. **Water footprint manual**: State of the art 2009. Enschede, theNetherlands: WaterFootprint Network, 2009. Disponível em: <[www.waterfootprint.org/downloads/WaterFootprintManual2009.pdf](http://www.waterfootprint.org/downloads/WaterFootprintManual2009.pdf)> Acesso em: 15 Fev. 2010

IBGE (Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística). **SIDRA**. Sistema IBGE de recuperação automática, 2008. Disponível em: <<http://www.sidra.ibge.gov.br>>. Acesso em: 05 mar. 2015.

IBGE (Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística). **SIDRA**. Sistema IBGE de recuperação automática, 2013. Disponível em: <<http://www.sidra.ibge.gov.br>> . Acesso em: 05 mar. 2015.

IPCC. **CLIMATE CHANGE 2007**-the physical science basis: Working group I contribution to the fourth assessment report of the IPCC. Cambridge: Cambridge University Press, 2007.

IPCC. **Intergovernmental Panel on Climate Change (IPCC)**: The Physical Science Basis. Contribution of working group I to the fifth assessment report of the intergovernmental panel on climate change, 2013. Disponível em: <<https://www.ipcc.ch/report/ar5/wg1/>> Acesso em: 05 mar. 2015.

KROPFF, M.J. et al. Systems approaches for the design of sustainable agro-ecosystems. **Agricultural Systems**, Oxon, England, v.70, n.2–3, p.369–393, 2001.

LASSEY, K.R. Livestock methane emission: from the individual grazing animal through national inventories to the global methane cycle. *Agriculture Forest Meteorology*, Oxon, England, v. 142, p 120–132, 2007.

LOPES, C. et al. Effects of rumen-protected polyunsaturated fatty acid supplementation on reproductive performance of beef cows. **Journal of Animal Science**, Champaign, IL, USA, v. 87, n. 12, p. 3935-3943, 2009.

MCT. **Anthropogenic Emissions and Removals Inventory of Greenhouse Gases not Controlled by the Montreal Protocol e Initial Communication from Brazil**. Part II. Brasília, DF, 2010.

MEDEIROS, F. S. et al. Desempenho e características de carcaça de novilhos terminados em pastagem de aveia preta e azevém anual com diferentes níveis de suplementação energética. **Ciência Rural**, Santa Maria, v. 40, p. 141-148, 2010. Disponível em:

<[http://www.scielo.br/scielo.php?script=sci\\_arttext&pid=S0103-84782010000100023&nrm=iso](http://www.scielo.br/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0103-84782010000100023&nrm=iso)>. Acesso em: 04 de abril, 2015.

MEKONNEN, M.; HOEKSTRA, A. **The green, blue and grey water footprint of farm animals and animal products**. Cidade: the Netherlands. Publish by: UNESCO-IHE Institute for Water Education, 2010.

MEKONNEN, M.; HOEKSTRA, A. A Global Assessment of the Water Footprint of Farm Animal Products. **Ecosystems**, Manhattan, New York City. v. 15, n. 3, p. 401-415, 2012/04/01 2012. Disponível em: <<http://dx.doi.org/10.1007/s10021-011-9517-8>>. Acesso em: 05 de março, 2015.

MIGUEL, L. D. A. et al. Caracterização socioeconômica e produtiva da bovinocultura de corte no estado do Rio Grande do Sul. **Rev Est Deb**, cidade, v. 14, p. 95-125, 2007.

MOLLO, M. et al. Função ovariana em novilhas Nelore submetidas a alta ou baixa ingestão alimentar. **Acta Scientiae Veterinariae**, Porto Alegre, v. 35, n. Supl 3, p. 958, 2007.

NABINGER, C. et al. Produção animal com base no campo nativo: aplicações de resultados de pesquisa. In: CAMPOS Sulinos: conservação e uso sustentável da biodiversidade. Brasília: Ministério do Meio Ambiente, 2012.

NRC. **Nutrient Requirements of Beef Cattle**. 7. Ed. Washington: national Academy Press, 2000. 248 p.

OSPINA, H. et al. Efeito do nível de suplementação energética sobre o consumo de matéria orgânica digestível de bovinos. In: REUNIÃO ANUAL DA

SOCIEDADE BRASILEIRA DE ZOOTECNIA, 40., 2003, Santa Maria. **Anais...**Santa Maria: SBZ, 2003.

PIMENTEL, D. et al. Food production and the energy crisis. **Science**, Washington, v.82, n.4111, p.443–449, 1973.

PILAU, A.; LOBATO, J. F. P. Suplementação energética pré-acasalamento aos 13/15 meses de idade para novilhas de corte: desenvolvimento e desempenho reprodutivo. **Revista Brasileira de Zootecnia**, Viçosa, v. 38, n. 12, p. 2482-2489, 2009.

QUADROS, S. A. F.; LOBATO, J. F. P. Efeitos da lotação animal no comportamento reprodutivo de vacas de corte primíparas. **Revista Brasileira de Zootecnia**, Viçosa, v. 25, n. 1, p. 22-35, 1997.

RAMASWAMY, V. et al. Radiative forcing of climate change. In: CLIMATE Change 2001: The Scientific Basis—Contribution of Working Group I to the Third Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change. New York: Cambridge Univ. Press, 2001. p. 239 – 287.

ROSADO JÚNIOR, A. G.; LOBATO, J. F. P. Implementation of a performance indicators system in a beef cattle company. **Revista Brasileira de Zootecnia**, Viçosa, v. 39, p. 1372-1380, 2010. Disponível em: <[http://www.scielo.br/scielo.php?script=sci\\_arttext&pid=S1516-35982010000600029&nrm=iso](http://www.scielo.br/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S1516-35982010000600029&nrm=iso)>. Acesso em: 10 de março, 2015.

ROTZ, C. A. et al. Cradle-to-farm gate environmental footprints of beef cattle production in Kansas, Oklahoma, and Texas. **Journal of Animal Science**, Champaign, IL, USA, v. 93, n. 5, p. 2509-2519, 2015. Disponível em: <<http://dx.doi.org/10.2527/jas.2014-8809>>. Acesso em:

ROTZ, C. A.; BUCKMASTER, D. R.; COMERFORD, J. W. A beef herd model for simulating feed intake, animal performance, and manure excretion in farm systems. **Journal of Animal Science**, Champaign, IL, USA, v. 83, n. 1, p. 231-242, 2005. Disponível em: <<http://dx.doi.org/2005.831231x>>. Acesso em: 24 de abril, 2015.

ROTZ, C. A. et al. The Integrated Farm System Model. United States Department of Agriculture (USDA). **Reference Manual Version 4.2**. Pasture Systems and Watershed Management Research Unit. Agricultural Research Service, 2015. Disponível em: <<http://www.ars.usda.gov/sp2UserFiles/Place/80700500/Reference%20Manual.pdf>>. Acesso em: 24 de abril, 2015.

ROTZ, C. A. et al. A simulation-based approach for evaluating and comparing the environmental footprints of beef production systems. **Journal of Animal Science**, Champaign, IL, USA, v. 91, n. 11, p. 5427-5437, 2013. Disponível em: <<http://dx.doi.org/10.2527/jas.2013-6506>>. Acesso em: 10 de maio, 2015.

RIDOUTT, B.G. et al. Water footprint of livestock: comparison of six geographically defined beef production systems. *Int. J. LCA* 17, 165e175. 2012.

STACKHOUSE-LAWSON, K. et al. Carbon footprint and ammonia emissions of California beef production systems. **Journal of Animal Science**, Champaign, IL, USA, v. 90, n. 12, p. 4641-4655, 2012.

STACKHOUSE, K. et al. Growth-promoting technologies decrease the carbon footprint, ammonia emissions, and costs of California beef production systems. **Journal of Animal Science**, Champaign, IL, USA, v. 90, n. 12, p. 4656-4665, 2012.

SERE´C.; STEINFELD H. **World livestock production systems: current status, issues and trends**. Rome: Food and Agriculture Organization, 1996. (Animal production and health paper, 127)

SMITH, P. et al. Eds. **Climate Change 2007: Mitigation**. Contribution of Working Group III to the Fourth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change. Cambridge: Cambridge University Press, 2007.

SHIKLOMANOV, I.A. Appraisal and Assessment of World Water Resources, *Water International* v.25, n.15, p.11- 32, 2000.

WORLD BANK **Energy services for the millennium development goals**. Energy Sector Management Assistance Programme, United Nations Development Programme, UN Millennium Project, and World Bank. New York, 2007.

## 7.VITA

**CAROLINA HELLER PEREIRA**– Nascida em 16 de Julho de 1983, na cidade de Montenegro (RS), filha de Natanael Pereira e Carmem Marlene Heller Pereira. cursou o ensino fundamental na escola Sinodal Progresso e o ensino médio no colégio Sinodal, finalizando o ensino médio em cidade de São Leopoldo no ano de 2000. Ingressou no curso de Medicina Veterinária, na Universidade Luterana do Brasil em março de 2002 e em Janeiro de 2008 obteve o grau de Médico Veterinário. Em abril de 2008, ingressou no Mestrado em Ciências Veterinárias, na área de Reprodução de Bovinos de Corte na Faculdade de Ciências Veterinárias da Universidade Federal do Rio Grande do Sul (UFRGS). Obteve o título de mestre em 26 de agosto de 2010. Em abril de 2011 ingressou no Doutorado junto ao programa de Pós-graduação em Zootecnia pela UFRGS na área de sistemas de produção de bovinos de corte.