

UNIVERSIDADE FEDERAL DO RIO GRANDE DO SUL
CENTRO DE ESTUDOS E PESQUISAS EM AGRONEGÓCIOS
PROGRAMA DE PÓS GRADUAÇÃO EM AGRONEGÓCIOS

THIAGO JOSÉ FLORINDO

**APLICAÇÃO DE MÉTODOS DE TOMADA DE DECISÃO MULTICRITÉRIO
PARA GESTÃO DO CICLO DE VIDA:**
sustentabilidade na cadeia produtiva da carne bovina brasileira

PORTO ALEGRE / RS

2018

UNIVERSIDADE FEDERAL DO RIO GRANDE DO SUL
CENTRO DE ESTUDOS E PESQUISAS EM AGRONEGÓCIOS
PROGRAMA DE PÓS GRADUAÇÃO EM AGRONEGÓCIOS

THIAGO JOSÉ FLORINDO

**APLICAÇÃO DE METODOS DE TOMADA DE DECISÃO MULTICRITÉRIO
PARA GESTÃO DO CICLO DE VIDA:**

sustentabilidade na cadeia produtiva da carne bovina brasileira

Tese de Doutorado apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Agronegócios do Centro de Estudos e Pesquisas em Agronegócios da Universidade Federal do Rio Grande do Sul, como requisito parcial para obtenção do título de Doutor em Agronegócios.

Orientadora: Prof. Dra. Andrea Troller Pinto
Coorientador: Prof. Dr. Clandio Favarini Ruviaro

PORTO ALEGRE / RS

2018

AGRADECIMENTOS

Em primeiro lugar agradeço a minha orientadora, Andrea Troller, que desde o início do doutorado não colocou nenhum tipo de objeção as minhas ousadas propostas, sempre me incentivando e apoiando. Agradeço também ao meu coorientador, Clandio Favarini Ruviaro, que me acompanha desde o início do mestrado, sempre disposto a me auxiliar e avançar cientificamente. Ao pesquisador Jingzheng Ren, que da longínqua Dinamarca sempre se mostrou disposto a me auxiliar respondendo aos meus e-mails, quando questionava algumas dúvidas sobre suas publicações. Aos pesquisadores Edson Talamini, Geraldino Araújo, Vinícius Lampert, Cristiane De Léis e Verônica Schimidt que participaram da minha banca de qualificação e/ou defesa, pois suas contribuições foram muito importantes para o desenvolvimento deste trabalho.

Agradeço aos professores do Centro de Estudos e Pesquisas em Agronegócio – CEPAN, que nesse período foram fundamentais para construção do meu conhecimento e desenvolvimento desse trabalho. Débora Mara Corrêa de Azevedo, sempre disposta a nos ajudar com as questões burocráticas dessa jornada. Não vou citar nomes pois provavelmente esqueceria de alguém, mas agradeço a todos os meus colegas de mestrado e doutorado que fiz durante esse período, muitos levarei para o resto da vida.

A minha família, especialmente a minha esposa Giovanna, companheira, colega de doutoramento, pesquisa e trabalho que sempre esteve disposta a me ajudar e avançar. Aos meus pais, pais da Giovanna e meus irmãos que sempre me apoiaram nesse período. Muito obrigado pela compreensão de vocês em muitos momentos que não pude dar toda a atenção merecida. E não poderia esquecer da Kiara, que estava sempre presente e disposta a animar os momentos mais difíceis.

EPÍGRAFE

*“A tarefa não é tanto ver aquilo que ninguém viu,
mas pensar o que ninguém ainda pensou sobre aquilo que todo mundo vê.”*

(Arthur Schopenhauer)

Por vezes sentimos que aquilo que fazemos não é senão uma gota de água no mar.

Mas o mar seria menor se lhe faltasse uma gota”

(Madre Teresa de Calcutá)

RESUMO

Sistemas de produção agrícola, como os destinados à bovinocultura de corte, são reconhecidos mundialmente como importantes contribuintes de impactos ambientais, principalmente para o potencial de mudanças climáticas. O aumento da demanda de carne bovina nas últimas décadas tem gerado mais atenção sobre o tema, que se reflete na preocupação do consumidor em obter informações sobre os impactos associados ao produto. Neste estudo, avaliou-se a sustentabilidade de possíveis ações de melhoria para minimizar a pegada de carbono da cadeia produtiva de carne bovina brasileira para exportação, utilizando abordagens estruturadas sobre o pensamento do ciclo de vida, combinadas com métodos de tomada de decisão multicritério e ponderação probabilística. A pegada de carbono das exportações de carne bovina brasileira foi mensurada utilizando Avaliação do Ciclo de Vida e a partir disso identificou-se a etapa da cadeia mais representativa em termos de contribuição para o impacto. As emissões por quilo de carne bovina desossada variaram entre 33,35 a 33,58 kg de CO₂-Eq. Os portos de destino influenciaram em menos de 1% nos resultados, pois a fase de produção animal é a mais impactante, contribuindo com 98% dos impactos associados ao produto. Por meio de uma abordagem combinada dos métodos multicritérios TOPSIS e lógica *fuzzy* foram identificadas possíveis ações de melhoria no desempenho ambiental da fase de produção animal, a partir da ótica dos *stakeholders*: fertilização das pastagens, suplementação proteínada e integração lavoura-pecuária. Utilizou-se uma combinação da abordagem de Avaliação Sustentável do Ciclo de Vida com modelos multicritério VIKOR e lógica *fuzzy* para, além de avaliar a eficácia das alternativas na redução dos impactos associados a mudanças climáticas, analisa-las em relação a outros indicadores de critérios ambiental, econômico e social. Comparando com o sistema referência, a rotação de lavoura-pecuária obteve a melhor posição na hierarquização do desempenho entre todos os critérios avaliados. Especificamente para a pegada de carbono, a substituição do sistema de referência pela rotação lavoura-pecuária possibilitaria reduzir aproximadamente 7,7 kg de CO₂-Eq., ou seja, 23% do total da pegada de carbono atribuída ao produto, além de combinar a melhor oportunidade de melhoria no desempenho dos demais indicadores avaliados. Visando facilitar o processo de ponderação e integração de indicadores de diferentes critérios para geração de uma pontuação única de sustentabilidade, neste estudo propôs-se um modelo matemático de ponderação a partir da teoria da probabilidade. O modelo proposto demonstrou-se uma alternativa viável para a redução da incerteza e risco relatados por pesquisadores sobre a integração de métodos multicritérios com a Avaliação Sustentável do Ciclo de Vida, isentando o julgamento humano do processo de ponderação e possibilitando mensurar a probabilidade de determinada hierarquização de alternativas ocorrer. Além disso, combinado com o método VIKOR e seus critérios de desvios para determinação da melhor alternativa, a ponderação probabilística permitiu classificar se a melhor alternativa possibilitava uma solução ideal ou uma solução estável para o problema. Com base nos resultados desta pesquisa, demonstrou-se que existem ações que, além de minimizar os impactos ambientais associados às exportações de carne bovina brasileira em termos de pegada de carbono, também contribuem significativamente para o aumento da sustentabilidade da produção animal nos aspectos econômico e social.

Palavras-chave: bovinocultura de corte; ecoeficiência; ponderação probabilística; mudanças climáticas; produção sustentável.

ABSTRACT

Agricultural systems like beef cattle production are recognized worldwide as important cause of many environmental impacts, especially for the potential of climate change. The increase in beef demand in the last decades has generated even more attention on the subject, which is reflected in the consumer's concern to obtain information on the impacts associated with the product. In this study, it was evaluated the sustainability of possible improvement actions to minimize the carbon footprint of the export chain of Brazilian beef, using structured approaches to life-cycle thinking, combined with multicriteria decision-making methods and weighting probabilistic analysis. The carbon footprint of Brazilian beef exports was measured using the environmental Life Cycle Assessment and the most representative chain stage was identified in terms of contribution to the impact. Emissions per kilogram of product ranged from 33.35 to 33.58 kg of CO₂-Eq. The variation of destination ports influenced less than 1% of the results, since the animal production phase is the most impacting, contributing in more than 98% of the impacts associated to the product. Through a combined approach of the TOPSIS multi-criteria methods and fuzzy logic, it was possible to identify possible actions to improve the environmental performance of the animal production phase, from the perspective of the stakeholders: pasture fertilization, protein supplementation and crop-livestock integration. A combination of the Sustainable Life Cycle Assessment approach with VIKOR multicriteria model and fuzzy logic was applied to evaluate the effectiveness of the alternatives in reducing the impacts associated with climate change and to analyze them in comparison to other environmental criteria indicators, besides economic and social ones. Comparing with the reference system, the crop-livestock rotation obtained the best position in the hierarchy of performance among all evaluated criteria. Specifically for the carbon footprint, the replacement of the reference system by crop-livestock rotation would make it possible to reduce approximately 7.7 kg of CO₂-Eq., or 23% of the total carbon footprint attributed to the product, in addition to combining opportunity to improve the performance of the other indicators evaluated. Aiming to facilitate the process of weighting and integration of indicators of different criteria to generate a single sustainability score, in this study it was proposed a mathematical model of weighting from the theory of probability. The proposed model demonstrated a viable alternative for the reduction of uncertainty and risk reported by researchers on the integration of multicriteria methods with the Sustainable Life Cycle Assessment, exempting human judgment from the weighting process and making it possible to measure the probability of a certain hierarchy of alternatives occur. In addition, combined with the VIKOR method and its deviation criteria to determine the best alternative, probabilistic weighting allowed to classify whether the best alternative provided an optimal solution or a stable solution to the problem. Based on the results of this research, it has been demonstrated that there are actions that, in addition to minimizing the impacts associated with Brazilian beef exports in terms of carbon footprint, also contribute significantly to increasing the sustainability of animal production in economic and social aspects.

Keywords: beef cattle; ecoefficiency; probabilistic weighting; climate change; sustainable production.

LISTA DE EQUAÇÕES

CAPÍTULO III - TOMADA DE DECISÃO MULTICRITÉRIO: UMA REVISÃO SOBRE MODELOS PARA APLICAÇÃO CONJUNTA COM AVALIAÇÃO DO CICLO DE VIDA	
Equação 1- Normalização por vetor (TOPSIS).....	52
Equação 2- Desvio máximo (TOPSIS).....	53
Equação 3- Desvio mínimo (TOPSIS).....	53
Equação 4 - Aproximação das situações em relação às situações ideais positivas e negativas (TOPSIS).....	53
Equação 5 - Determinar os valores de S_i (VIKOR).....	54
Equação 6 - Determinar os valores de R_i (VIKOR).....	54
Equação 7 - Determinar os valores de Q_i (VIKOR).....	54
CAPÍTULO IV - APPLICATION OF THE MULTIPLE CRITERIA DECISION-MAKING (MCDM) APPROACH IN THE IDENTIFICATION OF CARBON FOOTPRINT REDUCTION ACTIONS IN THE BRAZILIAN BEEF PRODUCTION CHAIN	
Equation 1 - Maximum deviation (TOPSIS).....	76
Equation 2 - Minimum deviation (TOPSIS).....	76
Equation 3 - Approximation coefficient (TOPSIS).....	76
CAPÍTULO V - PONDERAÇÃO PROBABILÍSTICA E ANÁLISE DE RISCO APLICADOS À TOMADA DE DECISÃO MULTICRITÉRIO PARA AVALIAÇÃO DA SUSTENTABILIDADE DE SISTEMAS DE PRODUÇÃO DE CARNE BOVINA	
Equação 1 - Determinar os valores de S_i (VIKOR).....	111
Equação 2 - Determinar os valores de R_i (VIKOR).....	111
Equação 3 - Determinar os valores de Q_i (VIKOR).....	111

LISTA DE FIGURAS

CAPÍTULO II - AVALIAÇÃO SUSTENTÁVEL DO CICLO DE VIDA: UMA REVISÃO SISTEMÁTICA

Figura 1 – Avaliação da Sustentabilidade do Ciclo de Vida.....	23
Figura 2 – Seleção de artigos nas bases de dados e classificação de acordo com os critérios de exclusão	26
Figura 3 – Distribuição dos artigos pesquisados de acordo com o setor de aplicação	27
Figura 4 – Evolução anual de publicações com aplicações da abordagem ASCV.....	31

CAPÍTULO III - TOMADA DE DECISÃO MULTICRITÉRIO: UMA REVISÃO SOBRE MODELOS PARA APLICAÇÃO CONJUNTA COM AVALIAÇÃO DO CICLO DE VIDA

Figura 1 – Estrutura hierárquica do método AHP	51
--	----

CAPÍTULO IV - APPLICATION OF THE MULTIPLE CRITERIA DECISION-MAKING (MCDM) APPROACH IN THE IDENTIFICATION OF CARBON FOOTPRINT REDUCTION ACTIONS IN THE BRAZILIAN BEEF PRODUCTION CHAIN

Fig. 1 – Brazilian meat production chain from 'cradle-to-final destination'	70
Fig. 2 – SWOT matrix applied to: (a) stage of animal production; And (b) the industry stage of the beef production chain	86

CAPÍTULO V - PONDERAÇÃO PROBABILÍSTICA E ANÁLISE DE RISCO APLICADOS À TOMADA DE DECISÃO MULTICRITÉRIO PARA AVALIAÇÃO DA SUSTENTABILIDADE DE SISTEMAS DE PRODUÇÃO DE CARNE BOVINA

Figura 1 – Municípios onde as fazendas participantes estão localizadas na região sul do estado de Mato Grosso do Sul.....	99
Figura 2 - Escopo de análise genérico para os sistemas de produção analisados.....	104
Figura 3 – Representação do modelo de análise multicritério para Avaliação Sustentável do Ciclo de Vida	105
Figura 4 – Desempenho dos sistemas de produção avaliados de acordo com o critério econômico	113
Figura 5 – Desempenho dos sistemas nos indicadores de avaliação de impactos ambientais	113

Figura 6 – Comparação do desempenho dos indicadores de avaliação social entre os sistemas avaliados.....	120
Figura 7 – Probabilidade de ocorrência da classificação de cada sistema avaliado	125
Figura 8 – Desempenho de cada sistema por critério avaliado	129

LISTA DE SIGLAS E ABREVIATURAS

ACV – Avaliação do ciclo de vida
AHP – Análise hierárquica de processos
AISCV - Avaliação Integrada da Sustentabilidade do Ciclo de Vida
ASCV – Avaliação sustentável do ciclo de vida
CCV – Custeio do ciclo de vida
CF – Carbon footprint
CH₄ – Gás metano
CO₂ – Dióxido de carbono
CO₂-Eq. – Equivalência em dióxido de carbono
CTU - Unidades de tóxicos comparativos
EMBRAPA – Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária
FU – Functional unit
GEE – Gases de efeito estufa
GHG - Greenhouse Gas
GO – Goiás
GWP – Global warming power
IATF – Inseminação artificial por tempo fixo
IBGE – Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística
IPCC –International Panel of Climate Change
KwH – Quilowatts hora
LCA – Life cycle assessment
LCC – Life cycle costing
LCI – Life Cycle Inventory
LCSA - Life cycle sustainability assessment
LCSD - Life Cycle Sustainability Dashboard
MACBETH - Measuring Attractiveness by a Categorical Based Evaluation Technique
MADM - Multiple attribute decision making
MAUT - Multiple attribute utility theory
MCDM - Multiple criteria decision making
MCUT - Multiple criteria utility theory
MODM - Multiple Objective Decision Making
MS – Mato Grosso do Sul

MT – Mato Grosso

N₂O – Óxido nitroso

PRISMA - Preferred Reporting Items for Systematic Reviews and Meta-Analyses

PROMETHEE - Preference Ranking Organization Method for Enrichment Evaluation

PROMETHEE ELECTRE - Elimination Et Choix Traduisant la Réalité

RLP – Rotação lavoura-pecuária

ROI - Retorno sobre o investimento

S-ACV – Avaliação social do ciclo de vida

SETAC - Society of Environmental Toxicology and Chemistry

SLCA - Social Life Cycle Assessment

SMART - Simple Multi-Attribute Rating Technique

SPF – sistema com pastagens fertilizadas

SR – Sistema referência

SSP – Sistema com suplementação proteica

SWOT - Strengths, Weaknesses, Opportunities and Threats

TOPSIS - Technique for Order Preference by Similarity to the Ideal Solution

UF – Unidade funcional

UNEP - United Nations Environmental Programme

USDA – United States Department of Agriculture

USEPA - United States Environmental Protection Agency

VIKOR - VlseKriterijumska Optimizacija I Kompromisno Resenje

WECD - World Commission on Environment and Development

LISTA DE TABELAS

CAPÍTULO II - AVALIAÇÃO SUSTENTÁVEL DO CICLO DE VIDA: UMA REVISÃO SISTEMÁTICA

Tabela 1 – Comparação dos artigos pesquisados de acordo com o método de análise 33

CAPÍTULO III - TOMADA DE DECISÃO MULTICRITÉRIO: UMA REVISÃO SOBRE MODELOS PARA APLICAÇÃO CONJUNTA COM AVALIAÇÃO DO CICLO DE VIDA

Tabela 1 – Modelo de intensidade de preferência de alternativas do método AHP 51

Tabela 2 – Literatura com abordagens híbridas multicritério aplicados em conjunto com ACV 58

CAPÍTULO IV - APPLICATION OF THE MULTIPLE CRITERIA DECISION-MAKING (MCDM) APPROACH IN THE IDENTIFICATION OF CARBON FOOTPRINT REDUCTION ACTIONS IN THE BRAZILIAN BEEF PRODUCTION CHAIN

Table 1 – Defining alternatives for performance improvement 76

Table 2 – Definition of criteria for comparison of proposed alternatives 74

Table 3 – Definition of language variable 75

Table 4 – Contribution by GHG and sources of emission from the livestock stage 77

Table 5 – Emission factors and specifications for the transport of live animals 77

Table 6 – Impacts specific to slaughtered animals 78

Table 7 – Treatment of multifunctionality in meat processing by economic allocation 79

Table 8 – Emission specifications and emission factors for boned meat 79

Table 9 – Ports of destination, distance traveled from the Port of Santos (BR) and impacts associated with each transoceanic transport 80

Table 10 – Carbon Footprint of Brazilian beef exports characterized by final destination 81

Table 11 – Decision matrix of the animal production phase after application of the Fuzzy inference systems process 82

Table 12 – Industry decision matrix after Fuzzy inference systems 82

Table 13 – Values of minimum deviations (d_i^-) and maximum (d_i^+) and coefficient of proximity (C_i^+) for each solution 83

CAPÍTULO V - PONDERAÇÃO PROBABILÍSTICA E ANÁLISE DE RISCO APLICADOS À TOMADA DE DECISÃO MULTICRITÉRIO PARA AVALIAÇÃO DA SUSTENTABILIDADE DE SISTEMAS DE PRODUÇÃO DE CARNE BOVINA

Tabela 1 - Composição do rebanho dos sistemas de produção analisados, em número de animais e peso médio anual	101
Tabela 2 – Classificação dos critérios de avaliação e indicadores por fonte de coleta de dados	106
Tabela 3 - Definição das variáveis linguísticas	110
Tabela 4 – Comparação dos custos de produção dos sistemas avaliados por fonte geradora	114
Tabela 5 – Receita bruta, lucro operacional e retorno sobre o capital investido para os sistemas avaliados.....	115
Tabela 6 – Potenciais impactos ambientais dos sistemas por indicador avaliado.....	116
Tabela 7 – Carga animal média, produtividade e área necessária para a produção de uma UF dos sistemas avaliados	117
Tabela 8 – Potencial de aquecimento global de cada sistema avaliado, distribuído por fonte geradora, em quilos de CO ₂ -Eq.....	118
Tabela 9 – Pontuação dos indicadores sociais para os sistemas avaliados	119
Tabela 10 - Matriz de tomada de decisão para hierarquização dos sistemas.	123
Tabela 11 – Valores médios e desvios inferiores e superiores de Si, Ri e Q para os sistemas avaliados.....	123
Tabela 12 – Hierarquização dos sistemas pelas possibilidades de ponderação e probabilidade de ocorrência	124
Tabela 13 – Hierarquização dos sistemas a partir da maximização individual dos indicadores.....	126

SUMÁRIO

CAPITULO I.....	15
1. INTRODUÇÃO GERAL.....	16
1.1 Objetivo geral.....	19
1.2 Objetivos específicos.....	19
CAPÍTULO II.....	20
AVALIAÇÃO SUSTENTÁVEL DO CICLO DE VIDA: UMA REVISÃO SISTEMÁTICA	21
Resumo.....	21
1. INTRODUÇÃO.....	21
2 AVALIAÇÃO DA SUSTENTABILIDADE DO CICLO DE VIDA.....	22
3 MÉTODOS.....	24
3.1 Questão de pesquisa.....	25
3.2 Critérios de inclusão e exclusão.....	25
3.3 Fontes de informação.....	25
3.4 Forma de busca.....	26
3.5 Seleção dos estudos.....	26
3.6 Síntese dos resultados.....	27
4 RESULTADOS E DISCUSSÃO.....	27
4.1 Avaliação ambiental.....	31
4.2 Avaliação econômica.....	33
4.3 Avaliação social.....	33
4.4 Integração e análise dos resultados.....	35
5 CONCLUSÃO.....	36
6 REFERÊNCIAS.....	38
CAPITULO III.....	44
TOMADA DE DECISÃO MULTICRITÉRIO: UMA REVISÃO SOBRE MODELOS PARA APLICAÇÃO CONJUNTA COM AVALIAÇÃO DO CICLO DE VIDA.....	45
Resumo.....	45
1. Introdução.....	46
2. Tomada de decisão multicritério.....	47
2.1 Método AHP.....	49
2.2 Método TOPSIS.....	52

2.3	Método VIKOR	53
2.4	Família de métodos PROMETHEE	55
2.5	Teoria dos Conjuntos Fuzzy	56
2.6	Modelos híbridos MCDM aplicados à ACV	57
3	Conclusões	59
4	Referências	60
CAPÍTULO IV		64
APPLICATION OF THE MULTIPLE CRITERIA DECISION-MAKING (MCDM) APPROACH IN THE IDENTIFICATION OF CARBON FOOTPRINT REDUCTION ACTIONS IN THE BRAZILIAN BEEF PRODUCTION CHAIN		65
Abstract		65
1.	Introduction.....	66
2.	Materials and methods	68
2.1	Life Cycle Modelling	70
2.1.1	Raising livestock.....	70
2.1.2	Transport from the farm to the slaughterhouse	71
2.1.3	Meat processing	71
2.1.4	Transporting from the slaughterhouse to the port	72
2.1.5	Transport from the port of origin to the port of destination.....	72
2.2	Procedure for performance improvement actions	73
3.	Results.....	76
3.1	Carbon footprint (CF)	76
3.1.1	Raising livestock.....	76
3.1.2	Transportation farm – slaughterhouse	77
3.1.3	Meat processing	78
3.1.4	Slaughterhouse - Port of Santos	79
3.1.5	Transport: Port of Santos - port of destination	80
3.1.6	Carbon Footprint (CF) for exported Brazilian beef.....	80
3.2	Actions for potential improvement of the performance of analysis	81
3.2.1	The Fuzzy system	81
3.2.2	TOPSIS	82
4.	Discussion	84
4.1	Carbon Footprint of Exported Brazilian beef.....	84
4.2	SWOT matrix	85

5. Conclusions and Recommendations	88
References	89
CAPÍTULO V.....	94
PONDERAÇÃO PROBABILÍSTICA E ANÁLISE DE RISCO APLICADOS À TOMADA DE DECISÃO MULTICRITÉRIO PARA AVALIAÇÃO DA SUSTENTABILIDADE DE SISTEMAS DE PRODUÇÃO DE CARNE BOVINA.....	95
Resumo.....	95
1. INTRODUÇÃO.....	95
2. PROCEDIMENTOS METODOLÓGICOS.....	98
2.1 Seleção das fazendas para coleta de dados.....	98
2.2 Modelagem dos sistemas de produção.....	99
2.2.1 Sistema referência (pastejo e suplementação mineral)	101
2.2.2 Pastejo e suplementação proteínada	101
2.2.3 Pastejo, suplementação proteínada e fertilização das pastagens	102
2.2.4 Rotação lavoura-pecuária.....	102
2.3 Definição do escopo.....	103
2.4 Unidade funcional e alocação de impactos.....	104
2.5 Definição dos critérios de avaliação e indicadores	105
2.5.1 Avaliação econômica	106
2.5.1.1 Custo de produção e lucro operacional.....	106
2.5.1.2 Retorno sobre o investimento.....	107
2.5.1.3 Disponibilidade de linhas de créditos e taxa de juros subsidiadas	107
2.5.2 Ambiental.....	108
2.5.2.1 Ocupação da terra	108
2.5.2.2 Potencial impacto sobre mudanças climáticas	108
2.5.2.3 Potencial de eutrofização	108
2.5.2.4 Potencial de acidificação.....	109
2.5.2.5 Toxicidade humana total.....	109
2.5.3 Social.....	109
2.6 Conversão dos dados qualitativos em quantitativos	109
2.7 Forma de ponderação para as categorias e indicadores	110
2.8 Método VIKOR	110
2.9 Análise de risco	111
3. RESULTADOS	112

3.1 Econômico	112
3.1.1 Custo de produção.....	113
3.1.2 Lucro operacional	114
3.1.3 Retorno sobre o capital investido	115
3.1.4 Disponibilidade de linhas de financiamento e taxa de juros	115
3.2 Ambiental	116
3.1.1 Ocupação da terra	117
Tabela 7 – Carga animal média, produtividade e área necessária para a produção de uma UF dos sistemas avaliados.....	117
3.1.2 Potencial de aquecimento global	117
3.1.3 Potencial de eutrofização	118
3.1.4 Potencial de acidificação.....	118
3.1.5 Toxicidade humana total.....	119
3.2 Social.....	119
3.2.1 Geração de postos de trabalho.....	120
3.2.2 Remuneração dos trabalhadores.....	120
3.2.3 Qualificação de mão de obra.....	121
3.2.4 Complexidade do sistema	121
3.2.5 Partes interessadas	122
3.3 Hierarquização.....	122
3.4 Análise de risco	124
4. DISCUSSÃO.....	127
5. CONCLUSÃO.....	131
6. REFERÊNCIAS	131
CAPÍTULO VI	138
1. CONCLUSÃO GERAL.....	139
2. REFERÊNCIAS	140
CAPÍTULO VII.....	147
APÊNDICE 1 – Parâmetros adicionais de informações de entrada e saída dos sistemas para modelagem dos sistemas.	148
APÊNDICE 2 - Custos de reprodução dos sistemas avaliados.	148
APÊNDICE 3 - Desfrute dos sistemas avaliados (em quilos de peso vivo).	149
APÊNDICE 4 - Custo de suplementação animal.	149
APÊNDICE 5 - Inventário dos sistemas por unidade funcional.	150

APÊNDICE 6 - Custo do rebanho dos sistemas avaliados.	151
APÊNDICE 7 - Custo de formação de pastagens.....	152
APÊNDICE 8 – Possibilidade de combinações (Nº) de pesos para os critérios sociais (S), econômicos (E) e ambientais (A)	153

CAPITULO I

1. INTRODUÇÃO GERAL

O aumento da população humana, consumo *per capita* e a formação de grandes centros têm contribuído significativamente para a ampliação da demanda mundial por alimentos. Alimentar 9,3 bilhões de pessoas em 2050 consiste em um importante desafio para o setor agrícola (MAIA DE SOUZA et al., 2017, HERRERO et al., 2016), além da necessidade de reduzir o uso de terra, a utilização de insumos e os impactos ambientais decorrentes das atividades humanas (AVADÍ et al., 2016).

A produção agrícola é responsável por uma diversidade de impactos ambientais, dos quais a bovinocultura é um dos principais contribuintes, contabilizando cerca de 15% das emissões antropogênicas de gases de efeito estufa (GEE) (GERBER et al., 2013). Concomitantemente, o aumento da demanda ocasionou um rápido crescimento da bovinocultura nas últimas décadas, agravando a preocupação quanto ao seu impacto para o meio ambiente e possíveis contribuições para as mudanças climáticas (PAYANDEH et al., 2017).

Em razão disso, os consumidores tornaram-se mais conscientes em relações aos possíveis impactos associados à carne bovina. Nesta perspectiva, além de questões ambientais, os consumidores também passaram a considerar outros atributos da produção, tais como equidade social e viabilidade econômica (DE LUCA et al., 2018; JOSHI; RAHMAN, 2015). Como consequência, há uma crescente pressão aos *stakeholders* da indústria de carne bovina, em que a sustentabilidade tornou-se um dos principais paradigmas de práticas de gestão, pesquisa e políticas públicas (DAS; JHARKHARIA, 2018; DE LUCA et al., 2018; PASHAEI KAMALI et al., 2016). Essas exigências e pressões têm sido direcionados principalmente para os países que concentram a oferta no cenário mundial, como Índia, Brasil, Estados Unidos e Austrália, que juntos representaram aproximadamente 65% do total das exportações em 2017 (USDA, 2017).

O Brasil é atualmente o segundo maior produtor de carne bovina do mundo, com uma produção de 9,45 milhões de toneladas em 2017 (USDA, 2017), sendo que 90% dos bovinos são alimentados exclusivamente por forrageiras (IEG | FNP, 2017a). A produção é realizada principalmente em áreas marginais, com baixa dependência de insumos e pastagens muitas vezes degradadas (ESTEVES et al., 2018; CERRI et al., 2016), resultando em uma produtividade média de 25% do que poderia ser alcançando se melhores práticas de manejo de pastagens fossem adotadas (STRASSBURG et al., 2014). Apesar disso, mesmo tendo como

desafio aumentar a produção de alimentos, o Brasil é comprometido com a redução do desmatamento e redução das emissões de gases de efeito estufa (MARTINS et al., 2017).

Os impactos oriundos das exportações da cadeia produtiva de carne bovina estão distribuídos em toda a sua extensão, desde a produção de animais até o consumo nos países importadores, tornando indispensável uma análise holística para análise dos impactos. Neste ponto, a Avaliação do Ciclo de Vida (ACV) consiste na principal metodologia para avaliação da pegada carbono na gestão de cadeias de suprimentos (DAS; JHARKHARIA, 2018), sendo uma das únicas ferramentas projetadas para uma investigação holística de todos os impactos resultantes em uma cadeia até obter a saída desejada (GRUBERT, 2017). Além disso, a ACV é um importante método para aumentar a eficiência de cadeias produtivas, a partir da determinação de quais etapas possuem maiores contribuições para os impactos (WIEDEMANN et al., 2015).

Contudo, poucos estudos de ACV consideraram os impactos durante toda a cadeia produtiva de carne bovina, como o realizado por Wiedemann et al. (2015) para Austrália, pois a maioria dos estudos concentram-se em etapas específicas da cadeia, como a de produção animal (BOGAERTS et al., 2017; FLORINDO et al., 2017a; CERRI et al., 2016; DICK; ABREU DA SILVA; DEWES, 2015; RUVIARO et al., 2015) e transporte (SOYSAL; BLOEMHOF-RUWAARD; VAN DER VORST, 2014). Isso dificulta a identificação de pontos críticos e consequentemente, a seleção de alternativas que possibilitem melhorar o desempenho da cadeia. Além disso, a maioria dos estudos concentram-se em aspectos ambientais (WILLERS et al., 2017; DICK; ABREU DA SILVA; DEWES, 2015) ou ambientais e econômicos (DE OLIVEIRA SILVA et al., 2017; FLORINDO et al., 2017b; PASHAEI KAMALI et al., 2016), com ênfase no uso da ACV para investigar efeitos de diferentes estratégias de alimentação.

Entretanto, a transição para uma produção mais sustentável requer uma abordagem holística do pensamento do ciclo de vida, considerando o desempenho dos sistemas de produção em relação aos aspectos ambiental, econômico e social (SALA; CIUFFO; NIJKAMP, 2015). Bauer et al. (2008) consideram o pensamento do ciclo de vida como uma forma de aprendizagem organizacional, onde alternativas disponíveis para as etapas do processo de produção são pensadas como possíveis melhorias para redução de resultados indesejáveis associados ao produto. Com este objetivo, a Avaliação da Sustentabilidade do Ciclo de Vida (ASCV) foi concebida como uma metodologia integrativa, transdisciplinar e holística (GLORIA et al., 2017), possibilitando a compreensão de como os impactos ocorrem durante as fases do ciclo de vida, além de permitir a comparações entre diferentes cenários de avaliação

(DE LUCA et al., 2018). Todavia, como a metodologia é relativamente nova, não existe uma estrutura padrão (NEUGEBAUER et al., 2015), principalmente devido a situações conflitantes, como a integração de várias disciplinas, envolvendo indicadores de diferentes tipos e unidades e situações complexas de tomada de decisão (KALBAR et al., 2017).

Muitos pesquisadores têm combinado métodos de tomada de decisão multicritério (MCDM – *Multiple criteria decision-making*) com a abordagem de ciclo de vida (DE LUCA et al., 2017), pois permite gerenciar simultaneamente dados qualitativos e quantitativos, abordar pressupostos subjetivos de forma objetiva e resolver os pontos conflitantes entre as diferentes dimensões da sustentabilidade (CINELLI; COLES; KIRWAN, 2014). Além do mais, os métodos são amplamente apreciados por fornecerem um foco holístico no processo de tomada de decisão (FALCONE et al., 2016) e permitirem a integração de diferentes tipologias de dados em um única pontuação (DE LUCA et al., 2017; KALBAR et al., 2017), contribuindo efetivamente para as partes interessadas e/ou decisores selecionarem um caminho mais sustentável para a produção (REN; TONIOLO, 2018).

Por outro lado, as incertezas, imprecisão de informações e preferências individuais no processo decisório do mundo real incidem sobre os métodos MCDM. Em uma recente revisão sobre a aplicação conjunta de MCDM e ACV realizada por De Luca et al. (2017), alguns autores afirmaram que a combinação de diferentes metodologias implica em possíveis desentendimentos metodológicos e conseqüentemente, ainda mais incertezas. Quanto a esse ponto, é amplamente reconhecida a pertinência da análise de sensibilidade e incerteza (GRUBERT, 2017; FERRETTI; SALTELLI; TARANTOLA, 2016;), no entanto, é menos claro como o risco e informações de preferência podem ser inseridos ASCV, especificamente (GRUBERT, 2017).

Mesmo sendo uma etapa opcional, a ponderação de critérios é realizada com frequência na ASCV, visando uma melhor representação do mundo real e tendo um grande impacto no resultado das avaliações. A ponderação pode ser influenciada por questões éticas, ideologias e pontos de vista sobre a sociedade e natureza, por exemplo (REN; TONIOLO, 2018), fazendo com que alguns pesquisadores defendam a necessidade de desenvolvimento de um método de ponderação quantitativo para aspectos ambientais, econômicos e sociais (CHEN; HOLDEN, 2018). Além disto, a agregação de múltiplas categorias de avaliação em uma pontuação única por meio de modelos MDCM híbridos ponderados permite a avaliação geral em um único índice, conciliando atitudes de risco e preferências e fornecendo um suporte mais racional à decisão (REN; TONIOLO, 2018; GRUBERT, 2017).

Assim, surge o problema de pesquisa: quais as ações de melhorias mais sustentáveis para minimizar o impacto da fase de maior contribuição na pegada de carbono das exportações de carne bovina brasileira, a fim de maximizar o desempenho da cadeia produtiva?

1.1 Objetivo geral

Avaliar alternativas de melhoria da sustentabilidade da cadeia produtiva de carne bovina brasileira, a partir da aplicação conjunta da ASCV, métodos MCDM e ponderação probabilística.

1.2 Objetivos específicos

- a) Avaliar a pegada de carbono da cadeia produtiva de carne bovina brasileira para exportação, identificando a etapa crítica para este impacto.
- b) Identificar possíveis ações de melhoria na etapa crítica para a pegada de carbono da cadeia produtiva de carne bovina brasileira para exportação, com base na percepção dos interessados.
- c) Mensurar a sustentabilidade de possíveis ações de melhoria na etapa crítica da pegada de carbono da cadeia produtiva, utilizando um modelo combinado de ASCV e MCDM.
- d) Propor e testar um modelo de ponderação probabilística e análise de risco para ASCV que possibilite a hierarquização em uma única pontuação.

CAPÍTULO II

AVALIAÇÃO SUSTENTÁVEL DO CICLO DE VIDA: UMA REVISÃO SISTEMÁTICA

Resumo

A Avaliação Sustentável do Ciclo de Vida (ASCV) consiste em uma importante metodologia capaz de comparar a sustentabilidade de produtos e / ou processos, influenciando diretamente os tomadores de decisão. O objetivo principal dessa revisão de literatura é relatar o estado da arte de aplicações da abordagem ASCV a partir de uma revisão sistemática da literatura, identificando tendências futuras, limitações, dificuldades e desafios a serem superados. A partir dos critérios de seleção previamente definidos, foram identificados 19 estudos, compreendendo seis setores principais, dos quais se destacaram-se a gestão de resíduos e geração de energia. As principais dificuldades relatadas estão relacionadas com a ponderação e agregação dos indicadores econômicos, ambientais e sociais de forma a permitir a criação de um único indicador para comparar a sustentabilidade e, em última instância, facilitar os processos de tomada de decisão. Os resultados deste trabalho contribuem para auxiliar pesquisadores e profissionais da área de gestão do ciclo de vida, fornecendo uma visão geral do estado da arte da ACV, abrindo caminho não apenas para estudos futuros, mas também para políticas públicas mais sustentáveis.

Palavras-chave: análise do ciclo de vida; avaliação de sustentabilidade; desenvolvimento sustentável; custeio do ciclo de vida; avaliação do ciclo de vida social.

1. INTRODUÇÃO

A conscientização mundial sobre a importância de proteger o meio ambiente tem incluído constantemente a sustentabilidade em decisões políticas e econômicas, gerando a necessidade de métodos de avaliação que possam abordar de forma holística o impacto associado a um produto em seu ciclo de vida. Desta forma, diferentes instrumentos de avaliação têm sido desenvolvidos a fim de lidar com os três pilares da sustentabilidade – ambiental, econômico e social (HEIJUNGS; HUPPES; GUINÉE, 2010; KLOEPFFER, 2008).

A escolha dos métodos de análise da sustentabilidade pode implicar em várias consequências éticas e práticas, sendo que a eficácia em si pode ser influenciada por meio de diferentes enquadramentos teóricos, sem nenhuma garantia específica de resultados sustentáveis. A partir dos princípios de sustentabilidade definidos no relatório *Our Common*

Future (1987), desenvolvimentos sobre o pensamento de ciclo de vida levaram a proposição de abordagens no sentido de estimar a sustentabilidade de um produto (SALA; FARIOLI; ZAMAGNI, 2013). Essa abordagem amplia o escopo da avaliação ambiental, integrando aspectos econômicos e sociais ao longo do ciclo de vida do produto, auxiliando o processo de tomada de decisão com o objetivo de desenvolver produtos mais sustentáveis (LEHMANN *et al.*, 2013; HEIJUNGS; HUPPES; GUINÉE, 2010; KLOEPFFER, 2008).

A abordagem de Avaliação da Sustentabilidade do Ciclo de Vida (ASCV) foi proposta como a combinação de diferentes metodologias baseadas no ciclo de vida, incorporando os três pilares da sustentabilidade: ambiental, econômico e social (HEIJUNGS; HUPPES; GUINÉE, 2010), incluindo diferentes critérios para melhorar o desempenho do ciclo de vida de um produto. No entanto, as aplicações da abordagem ASCV parecem ser limitadas (MARTÍNEZ-BLANCO *et al.*, 2014; VAN DER GIESEN *et al.*, 2013), dificultando o processo de padronização e estruturação da abordagem. A partir disto, o objetivo deste artigo foi identificar o estado da arte de aplicações da abordagem ASCV a partir de uma revisão sistemática da literatura, identificando tendências futuras, limitações, dificuldades e desafios a serem superados.

2 AVALIAÇÃO DA SUSTENTABILIDADE DO CICLO DE VIDA

A ASCV ganhou notoriedade a partir da publicação do guia *Towards a live cycle sustainability assessment: making informed choices on products*, realizada pela UNEP - *United Nations Environmental Programme* (VALDIVIA *et al.*, 2013). De acordo com Kloepffer (2008), a ASCV é uma aplicação combinada da Avaliação Ambiental do Ciclo de Vida (ACV), Custeio do Ciclo de Vida (CCV) e uma Avaliação Social do Ciclo de Vida (S-ACV), como mostrado na Figura 1. A ASCV amplia o escopo da análise, integrando aspectos ambientais, dados econômicos e sociais, cobrindo todos os impactos positivos e negativos ao longo do ciclo de vida do produto (GUINÉE *et al.*, 2011; HEIJUNGS; HUPPES; GUINÉE, 2010; KLOEPFFER, 2008). Dessa forma, essa estrutura possibilita compartilhar conhecimentos de diferentes disciplinas relacionadas à sustentabilidade por meio de uma abordagem interdisciplinar (SALA; FARIOLI; ZAMAGNI, 2013).

Comparando com a ACV, o CCV de um produto utiliza os custos de insumos para calcular os custos agregados de um processo, medindo todos os custos associados ao seu ciclo de vida (HOOGMARTENS *et al.*, 2014; KLOEPFFER, 2008). Contudo, as externalidades

geradas no ciclo de produção somente são incluídas na análise quando há uma possibilidade razoável de que elas possam se tornar custos internos no futuro (WOOD; HERTWICH, 2013).

A utilização do CCV facilita a comparação de diferentes cenários, uma vez que tem praticamente o mesmo escopo de ACV (UNEP/SETAC, 2011), facilitando as decisões do consumidor que geralmente são influenciadas pelo preço de um produto. Uma vez que as decisões dos consumidores são frequentemente orientadas pelo preço de um produto, produtos com menores impactos ambientais devem ser rentáveis e com preço acessível ao mercado, caso contrário, não serão aceitos no mercado (KLOEPFFER, 2008). Isto possibilita que produtores possam oferecer um produto com menor impacto ambiental que não seja apenas lucrativo para si mesmo, mas também acessível para os consumidores (KLOEPFFER, 2008).

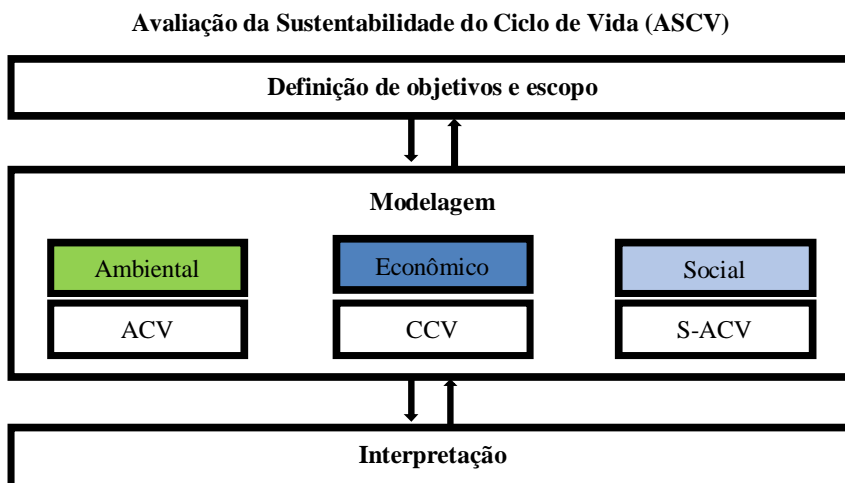


Figura 1- Avaliação da Sustentabilidade do Ciclo de Vida.

Fonte: Adaptado de Kloepffer (2008).

A avaliação social do ciclo de vida (S-ACV) tem como objetivo avaliar os impactos sociais e socioeconômicos, além de mensurar seu impacto potencial durante o ciclo de vida de um produto. Estruturado a partir da norma ISO 14040, os aspectos avaliados a partir do S-ACV de um produto afetam diretamente os interessados, podendo estar relacionados ao comportamento das empresas, desenvolvimento socioeconômico ou impacto sobre o capital social (UNEP/SETAC, 2009).

Ao ponto que muitos indicadores sociais são qualitativos, se torna necessário uma abordagem mista, por meio de uma classificação qualitativa dos dados, com estruturas de pontuação em conjunto com métodos quantitativos. O indicador social pode ser atribuído tal como a correlação de quantas horas uma pessoa necessita trabalhar para adquirir unidades

funcionais para uma sociedade, como por exemplo, cuidados com a saúde e educação (KLOEPFFER, 2008). Portanto, uma maior necessidade de horas por unidade funcional social resultará negativamente no produto avaliado, dado que um produto com bom desempenho ambiental pode ter um desempenho negativo pela avaliação social (UNEP/SETAC, 2009). Todas as informações relevantes para os três pilares da sustentabilidade estão incluídas em uma estrutura de ecoeficiência. Um ponto significativo desta aplicação combinada consiste na adoção das mesmas fronteiras do sistema e unidades funcionais para as três análises, gerando economia de recursos e maior confiabilidade de dados (VALDIVIA *et al.*, 2013).

Na ASCV, a sustentabilidade é vista como o conjunto de forma equilibrada das três dimensões definidas pelo relatório *Our Common future* (WCED, 1987), conciliando os conflitos de proteção ao meio-ambiente, igualdade social e crescimento econômico. O objetivo da ASCV é avaliar na medida em que o ciclo de vida de um produto afeta qualquer um dos dois objetivos: o encontro das necessidades da geração atual ou a capacidade de atender as necessidades para suas gerações futuras (JØRGENSEN; HERRMANN; BJØRN, 2013).

No entanto, há uma necessidade de mais estudos sobre a abordagem de ASCV, especialmente com aplicações práticas, promovendo a padronização da metodologia. Algumas dificuldades foram relatadas sobre a aplicação do quadro ASCV, como por exemplo, se as três dimensões da sustentabilidade devem ser separadas apenas no inventário do ciclo de vida ou também no nível de impacto, evitando uma dupla contagem (BACHMANN, 2013).

A utilização da abordagem pode apoiar os tomadores de decisão na priorização de recursos e investimentos para produtos e tecnologias mais sustentáveis. Conseqüentemente, a ASCV possibilita aos consumidores informações sobre quais os produtos são eficientes em termos de custo, com baixos impactos ambiental e socialmente responsáveis, promovendo uma adequação em toda a cadeia de suprimentos sobre critérios de sustentabilidade (VALDIVIA *et al.*, 2013).

3 MÉTODOS

A fase inicial deste estudo consistiu na seleção de um método rigoroso e bem definido para estruturar claramente a revisão sistemática. Assim, uma revisão sistemática consiste em uma revisão abrangente, a qual tem como objetivo responder uma questão claramente formulada, utilizando um método sistemático para identificar estudos relevantes e minimizar distorções e erros (JESSON; LACEY, 2006). No entanto, como acontece com todas as pesquisas, o valor de uma revisão sistemática depende do que foi feito, o que foi encontrado e

a clareza dos relatórios (MOHER *et al.*, 2009). Com o objetivo de garantir a qualidade científica e minimizar o risco de viés, a estrutura desse estudo e toda a análise desta revisão segue o protocolo da Declaração PRISMA (MOHER *et al.*, 2009). A revisão sistemática realizada neste estudo foi conduzida de acordo com as seguintes etapas: definição da pergunta, critérios de identificação e elegibilidade.

3.1 Questão de pesquisa

A questão principal do presente estudo foi identificar o estado da arte da aplicação do método ASCV entre o período de 2008 a 2015. Contudo, para melhor compreensão e conseqüentemente, melhor responder esta questão, a questão principal foi representada em cinco questões norteadoras:

- Qual o número de artigos publicados com aplicações do método ASCV entre 2008-2015?
- Em quais setores foram realizados as aplicações do método?
- Como foi realizada a apresentação e/ou integração dos resultados?
- Quais os impactos positivos apontados nos estudos de caso?
- Quais as dificuldades relatadas para realização?

3.2 Critérios de inclusão e exclusão

Os critérios para identificar os estudos de caso são essenciais a fim de responder às questões de pesquisa e reduzir a probabilidade de viés. Assim, a determinação dos artigos que satisfazem os critérios de inclusão foi realizada com base na informação disponível nos títulos e resumo dos artigos. O principal critério de inclusão foi considerar para avaliação apenas os artigos que realizaram aplicações do método ASCV para análise. No entanto, apesar das revisões sistemáticas também poderem incluir outros tipos de publicações, para garantir a qualidade e transparência nesta pesquisa, optou-se em considerar apenas artigos científicos publicados em língua inglesa.

3.3 Fontes de informação

Os artigos analisados foram coletados por meio das seguintes bases de dados: *Web of Science* (ISI), *Scopus* e *Science Direct*. A seleção dessas bases de dados foi devido a

característica interdisciplinar e cobertura na literatura científica sobre sustentabilidade, meio ambiente e desenvolvimento sustentável.

A pesquisa bibliográfica foi realizada em maio de 2016, avaliando artigos publicados entre 2008 e 2015. A delimitação do ano de 2008 como período inicial deve-se a publicação do artigo “*Life cycle sustainability assessment of products*” por Kloepffer (2008), o qual apresenta o primeiro modelo para avaliação. No entanto, foi realizada uma pesquisa sem delimitação de data inicial, constatando que não houve nenhuma publicação com aplicação do método anterior a 2008.

3.4 Forma de busca

Para realização da pesquisa, foram utilizadas as seguintes expressões com o auxílio de operadores booleanos: “*life cycle sustainability assessment*” or “*life cycle sustainability analysis*” considerando o texto completo. Esta distinção dos termos é necessária devido a dois termos propostos por Kloepffer (2008) e Guinée *et al.* (2011).

3.5 Seleção dos estudos

Primeiramente, os estudos coletados foram agrupados para exclusão de artigos duplicados e que estivessem em qualquer idioma que não o inglês (Figura 2). Então, os resumos de todos os artigos potencialmente elegíveis foram lidos e os artigos que não satisfizeram os critérios de seleção foram descartados.

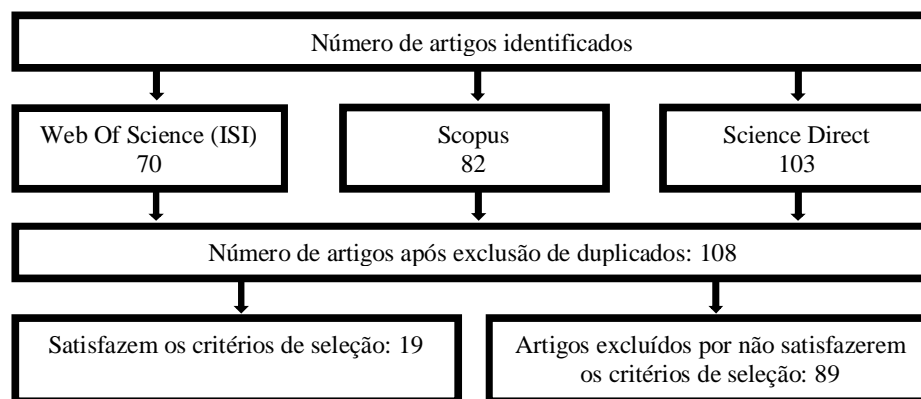


Figura 2 - Seleção de artigos nas bases de dados e classificação de acordo com os critérios de exclusão.

3.6 Síntese dos resultados

Os resultados são estruturados em duas etapas: primeiramente é apresentada uma análise descritiva quantitativa (bibliográfica) com o objetivo de proporcionar uma visão geral dos resultados. Em segundo lugar, é apresentada uma análise temática para fornecer uma avaliação em profundidade sobre as características dos estudos analisados. Para a análise temática, foram utilizadas categorias dedutivas adquiridas a partir da revisão de literatura e categorias indutivas que surgiram durante a avaliação, possibilitando classificar sistematicamente o conteúdo dos artigos e identificar relações.

4 RESULTADOS E DISCUSSÃO

A análise constatou uma grande diversidade quanto ao desenvolvimento e conclusões dos estudos avaliados, de acordo com as particularidades de cada aplicação da ASCV. A busca resultou em dezenove artigos, os quais foram classificados em seis diferentes grupos de acordo com o assunto geral relacionado ao uso da metodologia ASCV (Figura 3).

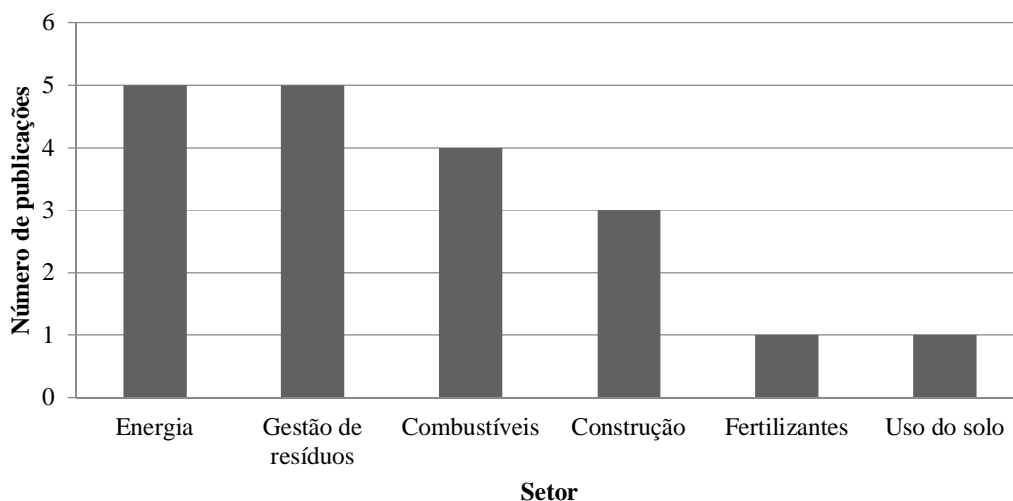


Figura 3 – Distribuição dos artigos pesquisados de acordo com o setor de aplicação.

A comparação de fontes de energia foi um dos principais temas de pesquisa (5 artigos), analisando a sustentabilidade de fontes alternativas de energia em cenários de longo prazo. Pesquisas relacionadas à gestão de resíduos tiveram como principais objetivos a comparação de alternativas para o descarte de resíduos sólidos, enquanto os artigos sobre construção

compararam o uso de diferentes tipos de materiais para edificações. Da mesma forma, há a aplicação para comparação de combustíveis alternativos, com foco na indústria automotiva e siderúrgica. Destaca-se a ausência de pesquisas relacionadas na produção de alimentos, tendo com maior proximidade uma aplicação da análise de sustentabilidade de diferentes tipos de fertilizantes na União Europeia e uma aplicação na gestão de manguezais na Tailândia. A Tabela 1 apresenta a distribuição dos artigos pesquisados de acordo com o ano, título, autores, país pesquisado, área e objetivo da aplicação.

A aplicação da abordagem ASCV concentrou-se na comparação de diferentes possibilidades de implementação, geralmente avaliando sistemas de produção alternativos em comparação aos sistemas convencionais. Burchart-Korol (2013) avaliou o uso da biomassa como combustível alternativo na indústria siderúrgica. Da mesma forma, Lu *et al.* (2014) compararam a sustentabilidade da reutilização de componentes eletrônicos de telefones na China, em oposição à fabricação de novos componentes. A comparação entre diferentes alternativas para realizar a mesma atividade, usando os mesmos limites do sistema, possibilita uma análise detalhada para a tomada de decisões, uma vez que os mesmos indicadores, estrutura de ponderação e limites do sistema são utilizados, permitindo resultados mais claros. Contudo, nota-se uma variação no objeto de pesquisa dos artigos de acordo com o tempo, tendo a gestão de resíduos como principal foco de pesquisa até 2013, posteriormente o surgimento de pesquisas relacionadas à construção civil. A Figura 4 apresenta a evolução e distribuição das publicações do quadro ASCV por ano.

A ASCV consiste em uma metodologia recente, proposta primeiramente por Kloepper (2008) e posteriormente por Guinné (2011). Para a realização da pesquisa, mesmo sem a delimitação de data inicial de pesquisa, a primeira publicação encontrada da abordagem foi realizada em 2010, por Moriizumi, Matsui e Hondo (2010) na Tailândia, utilizando a abordagem proposta por Kloepper (2008). No entanto, somente a partir de 2012 as publicações sobre o tema começaram a evoluir, o que pode ser explicado principalmente pela dificuldade em aplicar a S-ACV até então. A dificuldade na aplicação da S-ACV pode ter sido influenciada por um aumento nos investimentos em setores específicos e escassez em outros, porque, em teoria, uma vez que os critérios e os indicadores são desenvolvidos, a replicação de trabalhos é facilitada. Como exemplo, têm-se os estudos realizados por Stamford e Azapagic (2012), Santoyo-Castelazo e Azapagic (2014) e Stamford e Azapagic (2014), que utilizam um modelo de ASCV proposto por Stamford e Azapagic (2011) para avaliação da sustentabilidade de fontes de energia, composto por 36 indicadores ambientais, econômicos e sociais.

Tabela 1- Comparação dos artigos pesquisados de acordo com o objetivo e método de análise.

Autor	País	Objetivo	Método ambiental	Método econômico	Método social	Análise dos resultados
Yu e Halog (2015)	Austrália	Avaliação da sustentabilidade de energia solar fotovoltaica	ACV / CML 2001	LCC / <i>Payback</i>	Abordagem qualitativa, distribuída em uma escala de nove cores	Comparação dos resultados
Souza <i>et al.</i> (2015)	Brasil	Desenvolvimento de um Sistema de logística reversa para resíduos eletrônicos no Brasil	ACV	CCV/ Mapas causais	Consulta de aspectos relevantes com os <i>stakeholders</i>	Mapas causais
Keller, Rettenmaier e Reinhardt (2015)	Alemanha	Sustentabilidade de uma biorrefinaria	ACV	CCV	S-ACV	Discussão dos resultados de forma estruturada
Ren <i>et al.</i> (2015)	China	Avaliação da sustentabilidade do etanol produzido na China	ACV/ CML 2001 e ReCiPe 2008	CCV	Aspectos relacionados aos <i>stakeholders</i> - Lógica <i>Fuzzy</i> para quantificar os indicadores sociais.	Utilização de uma análise multicritério (AHP) e depois a aplicação do método VIKOR
Hossaini <i>et al.</i> (2015)	Canadá	Avaliação da sustentabilidade de construções residenciais	ACV	CCV	Pesquisa bibliográfica sobre critérios sociais na construção e efetuados entrevista com dez gestores de construção	Análise multicritério - AHP
Akhtar <i>et al.</i> (2015)	Canadá	Comparação da sustentabilidade de diferentes tipos de tubulação de esgoto	ACV	CCV	Utilizou método AHP (multicritério) para hierarquizar as variáveis sociais na análise	AHP multicritério e síntese de emergia
Onat, Kucukvar e Tatari (2014a)	EUA	Avaliação da sustentabilidade de veículos com combustíveis alternativos	ACV – Matriz insumo/produto	Matriz de insumo produto	Introdução de indicadores de sustentabilidade	Elaboração de dois cenários
Stamford e Azapagic (2014)	Reino Unido	Comparação da sustentabilidade de diferentes fontes de energia em um cenário para 2070	ACV	CCV	Seleção de indicadores/ Dados primários	Utiliza um modelo que analisa 36 indicadores abrangendo a esfera ambiental, econômica e social
Onat, Kucukvar e Tatari (2014b)	EUA	Avaliação da sustentabilidade de construções	ACV híbrido/ Matriz de insumo/ produto	Matriz de insumo produto	Introdução de indicadores de sustentabilidade	Comparação dos indicadores
Martínez-Blanco <i>et al.</i> (2014)	Espanha	Comparação da sustentabilidade de três tipos de fertilizantes	ACV	CCV	Utilização de dados quantitativos e qualitativos referente às categorias interessadas, divididas em classes	Comparação dos indicadores

(continua na próxima página)

Tabela 1 (continuação)

Autor	País	Objetivo	Método ambiental	Método econômico	Método social	Análise dos resultados
Lu <i>et al.</i> (2014)	China	Comparação da sustentabilidade de componentes eletrônicos para telefones celulares	ACV	CCV	Análise das partes interessadas: saúde humana, salários e criação de empregos	Comparação dos resultados
Foolmaun e Ramjeawon (2013)	Ilhas Maurício	Sustentabilidade de diferentes alternativas de disposição de garrafas plásticas	ACV / ECO-indicator 99)	CCV	S-ACV	Análise de decisão multicritério (AHP)
Santoyo-Castelazo e Azapagic (2014)	México	Propõe uma nova estrutura para avaliar a sustentabilidade em sistemas integrados de energia	ACV/ CML 2001	CCV / Indicador de lucratividade e anual	Indicadores de segurança e fornecimento; aceitabilidade pública; Saúde e segurança; questões de sustentabilidade	Análise de decisão multicritério (AHP)
Burchart-Korol (2013)	Polônia	Avaliação da sustentabilidade do uso de biomassa como combustível alternativo na indústria siderúrgica	ACV	CCV	Uso da terra, emprego, saúde e segurança no trabalho	Comparação dos resultados
Vinyes <i>et al.</i> (2013)	Espanha	Avaliação da sustentabilidade de três sistemas domésticos de coleta de óleo em um bairro	ACV - CML 2001	CCV	Divisão em cinco categorias interessadas: trabalhadores, consumidores, comunidade local, sociedade e as empresas envolvidas	Atribuíram mesmo peso para cada indicador
Stamford e Azapagic (2011)	Reino Unido	Avaliar fontes de energia com maior sustentabilidade	ACV / CML 2001	CCV / Indicador luc. anual	Segurança e fornecimento; aceitabilidade pública; Saúde e segurança; questões de sustentabilidade	Comparação dos resultados
Menikpura, Gheewala e Bonnet (2012)	Tailândia	Compare a sustentabilidade de diferentes formas de eliminação	ACV	CCV	Bem-estar dos trabalhadores; benefícios sociais para a comunidade	Análise de decisão multicritério
Traverso <i>et al.</i> (2012)	Europa ocidental	Avaliando a sustentabilidade dos módulos solares fotovoltaicos	ACV	CCV	Utilização de um <i>framework</i> onde os indicadores sociais são divididos por grupos	Comparação dos resultados
Moriizumi, Matsui e Hondo (2010)	Tailândia	Comparação da sustentabilidade de formas de gestão de manguezais	ACV	Fluxo de caixa	Indicadores sociais dos <i>stakeholders</i> envolvidos	Comparação dos resultados

Legenda: CML 2001, Recipe 2008 e ECO-indicator 99 são métodos de alocação de impacto; *Payback*: método para análise de investimentos; AHP - análise hierárquica de processo; Vikor: método de análise multicritério para tomada de decisão.

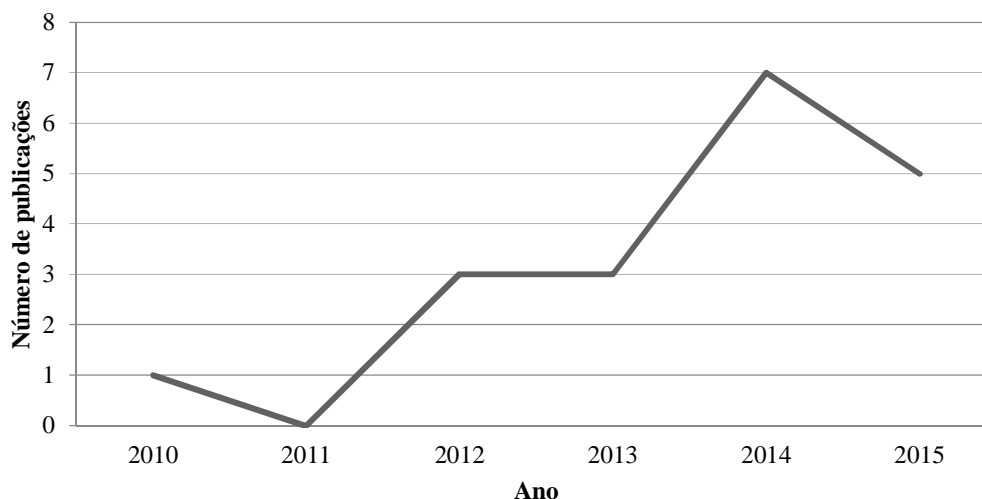


Figura 4 - Evolução anual de publicações com aplicações práticas da abordagem ASCV.

Conforme apresentado por Kloepfer (2008), a ASCV consiste em uma implementação combinada da ACV ambiental, CCV e S-ACV, utilizando a mesma unidade funcional e limites do sistema. Neste sentido, notou-se pouca variação nos métodos de avaliação econômica e ambientais, no entanto, houve significativa variação nas metodologias aplicadas para S-ACV.

Abordagens complementares para ASCV foram utilizadas por Keller, Rettenmaier e Reinhardt (2015), com base na metodologia da Avaliação Integrada da Sustentabilidade do Ciclo de Vida (AISCV). De acordo com Keller, Rettenmaier e Reinhardt (2015), a abordagem integrada vai além da abordagem atual da ASCV, analisando as barreiras que poderiam prevenir ou causar falhas na determinação de cenários e permitindo a integração de novas metodologias. Em contraste com o ASCV, a AISCV não se limita às metodologias de ACV, CCV e S-ACV, cuja análise ainda é limitada para cobrir todas as variáveis de sustentabilidade (KELLER; RETTENMAIER; REINHARDT, 2015).

4.1 Avaliação ambiental

A abordagem ambiental esteve menos presente nos estudos selecionados quando comparados ao CCV e S-ACV. Isso se justifica devido ao maior desenvolvimento da ACV quando comparado ao CCV e especialmente S-ACV. Em relação à estrutura, a abordagem mais utilizada foi a ACV atribucional, atribuindo todos os impactos do ciclo

de vida do produto em uma unidade de referência. No entanto, abordagens diferentes para avaliação ambiental foram utilizadas por Moriizumi, Matsui e Hondo (2010), utilizando o potencial de sequestro de carbono das florestas de mangue na Tailândia como sistemas de indicadores ambientais. Outra abordagem foi utilizada por Onat, Kucukvar e Tatari (2014a), usando dados ambientais de uma matriz de insumo-produto, integrando dados econômicos e sociais.

Em relação as categorias de impacto, a maioria dos estudos utilizaram indicadores de ponto médio. Souza *et al.* (2015) selecionaram as categorias de ponto médio e final, explicando que as categorias de ponto final podem ser mais representativas em um estudo S-ACV. No entanto, torna-se mais difícil conciliar com os aspectos econômicos e sociais. Ademais, nas categorias de impacto, alguns estudos utilizaram dados primários e/ou secundários.

Hossain *et al.* (2015) consideraram nove categorias de impacto primário e três de impacto de caráter secundário. Como categorias de impacto primário, utilizaram o potencial de aquecimento global, acidificação, eutrofização, uso de combustível fóssil, utilização de recursos, emissão de material particulado, depleção da camada de ozônio, danos à saúde humana e ecotoxicidade. As categorias secundárias foram o gerenciamento de resíduos, a qualidade do ar interno e a alteração do habitat, definidas por meio de uma extensa revisão de literatura em periódicos científicos e relatórios governamentais na América do Norte. Alguns estudos consideraram diferentes categorias de impacto, como Foolmaun e Ramjeawon (2013), avaliando o potencial carcinogênico. Stamford e Azapagic (2014) também incluíram o potencial de reciclagem de materiais e uso da terra como categorias de impacto, enquanto Vinyes *et al.* (2013) incluíram depleção abiótica, oxidação fotoquímica e demanda acumulada de energia.

O principal método de atribuição de impacto utilizado foi o CML-2001. No entanto, outros métodos, como Eco-indicador 99 (LU *et al.*, 2014; FOOLMAUN; RAMJEAWON, 2013), Recipe (REN *et al.*, 2015) e US EPA's (Ferramenta para a avaliação e redução de impactos ambientais e outros produtos químicos) também foram utilizados (HOSSAINI *et al.*, 2015). Metodologicamente, os fluxos ambientais foram determinados multiplicando-se o fator de caracterização correspondente para cada categoria de impacto.

Martínez-Blanco *et al.* (2014) relataram dificuldade em utilizar o software GaBi 5.0 para determinar o tempo de trabalho de uma determinada atividade durante o processo ambiental, devido a restrições e confidencialidade de dados. Segundo os autores, nesse

banco de dados, o usuário tem acesso apenas aos fluxos de dados agregados, não sendo possível acessar cada processo individualmente. Portanto, alguns dados de processos não puderam ser incluídos.

4.2 Avaliação econômica

Quanto à avaliação econômica, o principal método utilizado foi o CCV, aplicado sobre a mesma definição da ACV ambiental, de acordo com as diretrizes proposta por Hunkeler *et al.*, (2008). Os principais indicadores utilizados como entradas para análise foram os custos monetários das atividades. Outras análises foram realizadas como uma matriz de insumo-produto (ONAT; KUCUKVAR; TATARI, 2014a, 2014b) e fluxo de caixa (MORIIZUMI; MATSUI; HONDO, 2010). Stamford e Azapagic (2014) incluíram diferentes categorias técnico-econômicas para análise, como: operacionalidade e resistência a adoção de tecnologias.

Souza *et al.* (2015) utilizaram uma metodologia baseada em mapas causais para a seleção de categorias de impactos econômicos e sociais. Segundo Souza *et al.* (2015), alguns impactos das categorias identificadas são consistentes com a abordagem de CCV para ASCV, podendo contribuir para a seleção de categorias de impactos de acordo com os *stakeholders* (SOUZA *et al.*, 2015). Alguns estudos utilizaram uma análise paralela de investimentos, como *Payback* (YU; HALOG, 2015) e indicadores de rentabilidade anualizados (SANTOYO-CASTELAZO; AZAPAGIC, 2014; STAMFORD; AZAPAGIC, 2011). A aplicação de indicadores de rentabilidade é apresentada como uma boa alternativa para auxiliar a tomada de decisão, pois em alguns casos, apenas o CCV pode resultar distorções na análise. De acordo com Onat, Kucukvar e Tatari (2014a), o uso do CCV pode levar a resultados mais precisos do que a matriz de insumo-produto devido a mesma metodologia e escopo da análise ambiental, no entanto, alguns dados econômicos necessários para comparação com os ambientais geralmente estão indisponíveis.

4.3 Avaliação social

Entre as áreas de avaliação, a avaliação social foi a predominante entre os artigos avaliados. A avaliação social ainda está em fase inicial de desenvolvimento, havendo a necessidade de mais aplicações e novos desenvolvimentos de indicadores sociais

relacionados ao gerenciamento do ciclo de vida do produto (VALDIVIA *et al.*, 2013). No entanto, a seleção de critérios sociais e sua quantificação ainda são uma tarefa difícil para a análise de sustentabilidade (VINYES *et al.*, 2013). A disponibilidade de dados para a avaliação social ainda é muito limitada, por isso, a consulta dos *stakeholders* pode resultar em uma análise pouco abrangente, exigindo cautela nas conclusões (YU; HALOG, 2015).

Em todos os artigos, a determinação dos indicadores sociais foi realizada especificamente para o objeto analisado, determinando aspectos relevantes. Martinez-Blanco *et al.* (2014) apontaram que a seleção de indicadores apropriados para um caso específico deve ser realizada escolhendo-se dentre numerosos indicadores disponíveis na literatura. No entanto, os principais problemas estão na forma de relacionar indicadores sociais e seus respectivos impactos no sistema em unidades funcionais (VINYES *et al.*, 2013). Como exemplo, Stamford e Azapagic (2014) usaram a geração de empregos, impacto na saúde humana, risco de acidentes, segurança energética, contaminação nuclear e indicadores de equidade social sem a atribuição por unidade funcional.

Entre os métodos de análise, a maioria dos artigos utilizaram uma abordagem qualitativa para classificar diferentes grupos de *stakeholders* e conseqüentemente, identificar e ponderar possíveis indicadores para cada grupo. Uma abordagem semelhante foi utilizada por Yu e Halog (2015), utilizando uma escala de nove cores para a avaliação de indicadores. Hossaini *et al.* (2015) selecionaram indicadores a partir de uma pesquisa bibliográfica e realizaram entrevistas com dez gestores sobre os indicadores selecionados. Nos dois casos discutidos acima, relataram a dificuldade de quantificar e avaliar os indicadores sociais com resultados ambientais e econômicos. Segundo Vinyes *et al.* (2013), a limitação dos indicadores sociais a um número gerenciável e comparável requer uma avaliação multicritério, equilibrando os indicadores e gerando coeficientes entre eles.

Akhtar *et al.* (2015) utilizaram o método de análise de hierárquica de processos (AHP) para priorizar variáveis sociais, criando uma hierarquia entre os indicadores a partir de comparações, envolvendo poucas alternativas e múltiplos critérios. Segundo os autores, a abordagem AHP facilita a análise, mas a comparação com os dados ambientais e econômicos deve ser realizada com cautela, devido à diferença entre dados quantitativos e qualitativos. Uma abordagem semelhante foi proposta por Ren *et al.* (2015), mas após utilizar o método AHP para classificar as variáveis, os autores utilizaram a Lógica *Fuzzy* para quantificá-las. A Lógica *Fuzzy* é uma ferramenta matemática para resolver a imprecisão e a incerteza do julgamento humano na tomada de decisões através do uso de termos e graus de afiliação linguística. Segundo Ren *et al.* (2015), os indicadores sociais

podem ser quantificados usando a Teoria da Lógica *Fuzzy* combinada com análise multicritério, auxiliando na tomada de decisão.

4.4 Integração e análise dos resultados

Para comparar as dimensões ambiental, econômica e social, foram utilizadas diferentes abordagens. Alguns estudos realizaram uma simples comparação dos resultados, sem fazer qualquer interação entre eles. Neste ponto, destaca-se uma das principais dificuldades relatadas nas publicações, a necessidade de melhorar a metodologia de ASCV para integração os indicadores ambientais, econômicos e sociais (YU; HALOG, 2015; LU *et al.*, 2014; MORIIZUMI; MATSUI; HONDO, 2010).

A integração dos resultados da ASCV foi realizada de duas maneiras, seja através de uma discussão estruturada ou ponderação usando modelos matemáticos. Em discussões estruturadas, todas as vantagens e desvantagens das opções comparadas são discutidas de forma argumentativa, enquanto a integração de resultados utilizando ponderação de modelos matemáticos requer que todos os indicadores possam ser matematicamente combinados, classificando-os com fatores de ponderação (KELLER; RETTENMAIER; REINHARDT, 2015).

Em relação às discussões estruturadas, o principal modelo de integração foi o *Life Cycle Sustainability Dashboard* (LCSD). O quadro LCSD apresenta o mesmo objetivo da ASCV, mas apresenta os resultados de forma agregada, para facilitar os processos de tomada de decisão onde especialistas e não especialistas estão envolvidos (TRAVERSO *et al.*, 2012). Martinez-Blanco *et al.* (2014) utilizaram o quadro LCSD apresentando os resultados combinados de ACV, CCV e S-ACV. No entanto, concluem que é necessário ter cautela na interpretação dos resultados, considerando a incerteza relativa dos dados do S-ACV.

A capacidade de apresentar os resultados com classificação em uma escala de cores facilita a interpretação do LCSD, tornando-o mais compreensível para todas as partes interessadas (TRAVERSO *et al.*, 2012). No entanto, Martinez-Blanco *et al.* (2014) descrevem que uma das limitações do LCSD é que os fatores de ponderação não estão disponíveis para que todos os indicadores sejam aceitos como igualmente importantes na determinação de um resultado sustentável. Segundo Vinyes *et al.* (2013), a ASCV exige uma avaliação multicritério para resolver o equilíbrio entre indicadores e a relação entre eles.

A ponderação para modelos de agregação consiste no uso de métodos de tomada de decisão multicritério (MCDM – *Multi Criteria Decision Making*) para a integração das dimensões ambiental, econômica e social. Os métodos MCDM são capazes de selecionar independentemente as melhores alternativas com objetivos e restrições, no entanto, se o peso dos critérios não for distribuído adequadamente, pode levar a falhas na seleção (AKHTAR *et al.*, 2015).

Alguns estudos utilizaram uma análise multicritério, hierarquizando e ponderando as variáveis dos indicadores ambientais, econômicos e sociais, contudo, foram relatadas dificuldades na implementação e ponderação de variáveis. Hossaini *et al.* (2015) relataram que a incorporação de uma análise de emergia com o ASCV facilitaria a implementação de uma análise multicritério. Além disso, Akhtar *et al.* (2015) utilizaram a análise emergética para integrar os resultados da avaliação ambiental e econômica, integrando indicadores sociais a partir de uma análise multicritério e apontaram a dificuldade em compreensão da análise emergética e a conversão termodinâmica aplicada à tomada de decisão.

Outra forma de integração de resultados foi proposta por Ren *et al.* (2015), onde os resultados das avaliações ambientais, econômicas e sociais foram submetidos a análise AHP e ao método MCDM VIKOR para determinar o cenário mais sustentável. Nessa abordagem, a análise AHP é usada para ponderar os critérios de avaliação de sustentabilidade e em seguida, o método VIKOR é utilizado para classificar as alternativas em ordem decrescente, de acordo com a matriz de tomada de decisão, determinada pela ASCV. Algumas outras limitações são citadas, especialmente a análise de incerteza dos resultados, devido a dificuldades na implementação de um método AHP multicritério (HOSSAINI *et al.*, 2015). Yu e Halog (2015) também apontam limitações em relação ao banco de dados europeu, com baixa disponibilidade de indicadores sociais e dados de custos do ciclo de vida.

5 CONCLUSÃO

O crescimento no número de artigos publicados sobre a metodologia da ASCV nos últimos anos contribuiu para maior difusão da abordagem, ajudando a definir as melhores alternativas e políticas públicas em relação ao desenvolvimento sustentável. Neste estudo, uma revisão sistemática das aplicações de ASCV foi realizada utilizando o protocolo PRISMA para identificação do estado da arte de publicações com aplicações

da abordagem. Em geral, a análise é uma interpretação qualitativa das aplicações metodológicas da ASCV, fornecendo uma visão geral dos artigos publicados entre 2008 até 2015, para que os pesquisadores possam descobrir novas lacunas para estudos futuros.

O número de estudos relacionados a ASCV tem crescido ao longo do tempo, especialmente os setores de energia e gestão de resíduos, que compuseram a maioria dos artigos analisados. No entanto, setores relevantes como o uso da terra e a produção de alimentos precisam de mais estudos. Entre os artigos analisados, ACV e CCV foram bem padronizados e, portanto, esses métodos tiveram pouca ênfase. Alguns estudos incluíram o CCV relacionado a análise de investimentos, destacando o uso desta abordagem. A S-ACV foi o principal foco dos estudos, com uma variedade de métodos e ferramentas utilizados, o que pode ser explicado devido que o S-ACV é o aspecto mais recente da ASCV, com pouquíssimas aplicações científicas até o momento. As avaliações sociais nos artigos selecionados foram executadas quanto aos seus objetos específicos, incluindo diferentes métodos de seleção de indicadores, formulários de avaliação e ponderação de impacto.

Essa análise sistemática permitiu identificar duas das maiores dificuldades na aplicação da S-ACV, sendo a ponderação de critérios e a integração efetiva dos resultados ambientais, econômicos e sociais. Enquanto a ACV e CCV são abordagens quantitativas, a S-ACV é uma abordagem qualitativa, que precisa ser quantificada para uma maior integração em um único indicador. Além disso, os resultados de cada categoria de avaliação na ASCV usam indicadores diferentes, que devem ser ponderados de acordo com sua importância, gerando apenas um indicador que auxilie na tomada de decisões.

No entanto, se faz necessário destacar as limitações dessa revisão. Essa pesquisa considerou somente artigos científicos publicados em língua inglesa, podendo ter excluído documentos relevantes publicados em diferentes idiomas. Além disso, pode ter havido algum documento que não foi incluído porque não usou nenhuma das expressões pesquisadas.

Pesquisas futuras interdisciplinares devem levar em conta outros setores relevantes para a sustentabilidade mundial, como o uso da terra e a produção de alimentos. Destaca-se ainda várias questões sem resposta: Qual é a melhor alternativa para ponderar individualmente os indicadores? Qual é a melhor maneira de integrar os resultados em um único indicador, para não subestimá-los? Como podemos prospectar cenários futuros com a abordagem ASCV? Como podemos lidar com a análise de incerteza entre os indicadores? As respostas a essas perguntas, se e quando vierem, abrirão caminho para o

avanço da metodologia do ASCV, que por sua vez ajudará a identificar processos e políticas mais sustentáveis.

6 REFERÊNCIAS

AKHTAR, S. et al. Life cycle sustainability assessment (LCSA) for selection of sewer pipe materials. **Clean Technologies and Environmental Policy**, [s. l.], v. 17, n. 4, p. 973–992, 2015. Disponível em: <<http://link.springer.com/10.1007/s10098-014-0849-x>>. Acesso em: 2 abr. 2018.

BACHMANN, T. M. Towards life cycle sustainability assessment: drawing on the NEEDS project's total cost and multi-criteria decision analysis ranking methods. **The International Journal of Life Cycle Assessment**, Landsberg, v. 18, n. 9, p. 1698–1709, 2013. Disponível em: <<http://link.springer.com/10.1007/s11367-012-0535-3>>. Acesso em: 2 abr. 2018.

BURCHART-KOROL, D. Sustainability and eco-efficiency assessment of biomass use in steelmaking. In: INTERNATIONAL CONFERENCE ON METALLURGY AND MATERIALS (METAL), 22., 2013, Brno, República Tcheca. **Anais...** Brno, República Tcheca, [2013].

FOOLMAUN, R. K.; RAMJEAWON, T. Life cycle sustainability assessments (LCSA) of four disposal scenarios for used polyethylene terephthalate (PET) bottles in Mauritius. **Environment, Development and Sustainability**, Dordrecht, v. 15, n. 3, p. 783–806, 2013. Disponível em: <<http://link.springer.com/10.1007/s10668-012-9406-0>>. Acesso em: 2 abr. 2018.

GUINÉE, J. B. et al. Life Cycle Assessment: Past, Present, and Future. **Environmental Science & Technology**, Easton, v. 45, n. 1, p. 90–96, 2011. Disponível em: <<http://pubs.acs.org/doi/abs/10.1021/es101316v>>. Acesso em: 2 abr. 2018.

HEIJUNGS, R.; HUPPES, G.; GUINÉE, J. B. Life cycle assessment and sustainability analysis of products, materials and technologies. Toward a scientific framework for sustainability life cycle analysis. **Polymer Degradation and Stability**, [Amsterdam], v. 95, n. 3, p. 422–428, 2010. Disponível em: <<https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0141391009003607>>. Acesso em:

2 abr. 2018.

HOOGMARTENS, R. et al. Bridging the gap between LCA, LCC and CBA as sustainability assessment tools. **Environmental Impact Assessment Review**, New York, v. 48, p. 27–33, 2014. Disponível em: <<https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S0195925514000481>>. Acesso em: 2 abr. 2018.

HOSSAINI, N. et al. AHP based life cycle sustainability assessment (LCSA) framework: a case study of six storey wood frame and concrete frame buildings in Vancouver. **Journal of Environmental Planning and Management**, Newcastle upon Tyne, v. 58, n. 7, p. 1217–1241, 2015. Disponível em: <<http://www.tandfonline.com/doi/full/10.1080/09640568.2014.920704>>. Acesso em: 2 abr. 2018.

HUNKELER, D. et al. **Environmental life cycle costing**. Boca Raton : SETAC, CRC Press, 2008.

JESSON, J.; LACEY, F. **How to do (or not to do) a critical literature review**. 2006. Disponível em: <http://publications.aston.ac.uk/3431/1/Jesson_and_lacey2006.pdf>. Acesso em: 2 abr. 2018.

JØRGENSEN, A.; HERRMANN, I. T.; BJØRN, A. Analysis of the link between a definition of sustainability and the life cycle methodologies. **The International Journal of Life Cycle Assessment**, Landsberg, v. 18, n. 8, p. 1440–1449, 2013. Disponível em: <<http://link.springer.com/10.1007/s11367-013-0617-x>>. Acesso em: 2 abr. 2018.

KELLER, H.; RETTENMAIER, N.; REINHARDT, G. A. Integrated life cycle sustainability assessment – A practical approach applied to biorefineries. **Applied Energy**, London, v. 154, p. 1072–1081, 2015. Disponível em: <<https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0306261915001312>>. Acesso em: 2 abr. 2018.

KLOEPFFER, W. Life cycle sustainability assessment of products. **The International Journal of Life Cycle Assessment**, Landsberg, v. 13, n. 2, p. 89–95, 2008. Disponível em: <<http://www.springerlink.com/index/10.1065/lca2008.02.376>>. Acesso em: 2 abr.

2018.

LEHMANN, A. et al. Social aspects for sustainability assessment of technologies—challenges for social life cycle assessment (SLCA). **The International Journal of Life Cycle Assessment**, Landsberg, v. 18, n. 8, p. 1581–1592, 2013. Disponível em: <<http://link.springer.com/10.1007/s11367-013-0594-0>>. Acesso em: 3 abr. 2018.

LU, B. et al. Reusability based on Life Cycle Sustainability Assessment: Case Study on WEEE. **Procedia CIRP**, [Amsterdam], v. 15, p. 473–478, 2014. Disponível em: <<https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S2212827114004697>>. Acesso em: 2 abr. 2018.

MARTÍNEZ-BLANCO, J. et al. Application challenges for the social Life Cycle Assessment of fertilizers within life cycle sustainability assessment. **Journal of Cleaner Production**, [Amsterdam], v. 69, p. 34–48, 2014. Disponível em: <<https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0959652614000572>>. Acesso em: 2 abr. 2018.

MENIKPURA, S.; GHEEWALA, S. H.; BONNET, S. Framework for life cycle sustainability assessment of municipal solid waste management systems with an application to a case study in Thailand. **Waste Management & Research**, London, v. 30, n. 7, p. 708–719, 2012. Disponível em: <<http://www.ncbi.nlm.nih.gov/pubmed/22605020>>. Acesso em: 2 abr. 2018.

MOHER, D. et al. Preferred Reporting Items for Systematic Reviews and Meta-Analyses: The PRISMA Statement. **PLoS Medicine**, San Francisco, v. 6, n. 7, p. e1000097, 2009. Disponível em: <<http://www.ncbi.nlm.nih.gov/pubmed/19621072>>. Acesso em: 2 abr. 2018.

MORIIZUMI, Y.; MATSUI, N.; HONDO, H. Simplified life cycle sustainability assessment of mangrove management: a case of plantation on wastelands in Thailand. **Journal of Cleaner Production**, [Amsterdam], v. 18, n. 16–17, p. 1629–1638, 2010. Disponível em: <<https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0959652610002751>>. Acesso em: 2 abr. 2018.

ONAT, N. C.; KUCUKVAR, M.; TATARI, O. Integrating triple bottom line input–

output analysis into life cycle sustainability assessment framework: the case for US buildings. **The International Journal of Life Cycle Assessment**, Landsberg, v. 19, n. 8, p. 1488–1505, 2014. a. Disponível em: <<http://link.springer.com/10.1007/s11367-014-0753-y>>. Acesso em: 2 abr. 2018.

ONAT, N.; KUCUKVAR, M.; TATARI, O. Towards Life Cycle Sustainability Assessment of Alternative Passenger Vehicles. **Sustainability**, Basel, v. 6, n. 12, p. 9305–9342, 2014. b. Disponível em: <<http://www.mdpi.com/2071-1050/6/12/9305>>. Acesso em: 3 abr. 2018.

REN, J. et al. Prioritization of bioethanol production pathways in China based on life cycle sustainability assessment and multicriteria decision-making. **The International Journal of Life Cycle Assessment**, Landsberg, v. 20, n. 6, p. 842–853, 2015. Disponível em: <<http://link.springer.com/10.1007/s11367-015-0877-8>>. Acesso em: 2 abr. 2018.

SALA, S.; FARIOLI, F.; ZAMAGNI, A. Life cycle sustainability assessment in the context of sustainability science progress (part 2). **The International Journal of Life Cycle Assessment**, Landsberg, v. 18, n. 9, p. 1686–1697, 2013. Disponível em: <<http://link.springer.com/10.1007/s11367-012-0509-5>>. Acesso em: 2 abr. 2018.

SANTOYO-CASTELAZO, E.; AZAPAGIC, A. Sustainability assessment of energy systems: integrating environmental, economic and social aspects. **Journal of Cleaner Production**, [Amsterdam], v. 80, p. 119–138, 2014. Disponível em: <<https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0959652614005381>>. Acesso em: 2 abr. 2018.

SOUZA, R. G. et al. Definition of sustainability impact categories based on stakeholder perspectives. **Journal of Cleaner Production**, [Amsterdam], v. 105, p. 41–51, 2015. Disponível em: <<https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0959652614009810>>. Acesso em: 2 abr. 2018.

STAMFORD, L.; AZAPAGIC, A. Sustainability indicators for the assessment of nuclear power. **Energy**, Oxford, v. 36, n. 10, p. 6037–6057, 2011. Disponível em: <<https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S036054421100541X>>. Acesso em: 2 abr. 2018.

STAMFORD, L.; AZAPAGIC, A. Life cycle sustainability assessment of UK electricity scenarios to 2070. **Energy for Sustainable Development**, Bangalore, v. 23, p. 194–211, 2014. Disponível em:

<<https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0973082614000957>>. Acesso em: 2 abr. 2018.

TRAVERSO, M. et al. Towards life cycle sustainability assessment: an implementation to photovoltaic modules. **The International Journal of Life Cycle Assessment**, Landsberg, v. 17, n. 8, p. 1068–1079, 2012. Disponível em:

<<http://link.springer.com/10.1007/s11367-012-0433-8>>. Acesso em: 2 abr. 2018.

UNEP/SETAC. **Guidelines for social life cycle assessment of products**. Paris, França: UNEP/ SETAC Life Cycle Initiative, 2009. Disponível em:

<http://www.unep.fr/shared/publications/pdf/dtix1164xpa-guidelines_slca.pdf> Acesso em: 18 jun. 2016.

UNEP/SETAC. **Towards a life cycle sustainability assessment: making informed choices on products**. Paris, França, 2011. Disponível em:

<<https://www.lifecycleinitiative.org/wp-content/uploads/2012/12/2011-Towards-LCSA.pdf>>. Acesso em: 3 abr. 2018.

VALDIVIA, S. et al. A UNEP/SETAC approach towards a life cycle sustainability assessment—our contribution to Rio+20. **The International Journal of Life Cycle Assessment**, Landsberg, v. 18, n. 9, p. 1673–1685, 2013. Disponível em:

<<http://link.springer.com/10.1007/s11367-012-0529-1>>. Acesso em: 2 abr. 2018.

VAN DER GIESEN, C. et al. Towards application of life cycle sustainability analysis.

Revue de Métallurgie, Paris, v. 110, n. 1, p. 29–36, 2013. Disponível em:

<<http://www.metallurgical-research.org/10.1051/metal/2013058>>. Acesso em: 3 abr. 2018.

VINYES, E. et al. Application of LCSA to used cooking oil waste management. **The International Journal of Life Cycle Assessment**, Landsberg, v. 18, n. 2, p. 445–455, 2013. Disponível em: <<http://link.springer.com/10.1007/s11367-012-0482-z>>. Acesso em: 2 abr. 2018.

WCED. **Our common future**. Brundtland: Oxford: Oxford University Press, 1987a.

Disponível em: <<http://www.un-documents.net/our-common-future.pdf>> Acesso em: 18 jun. 2016.

WOOD, R.; HERTWICH, E. G. Economic modelling and indicators in life cycle sustainability assessment. **The International Journal of Life Cycle Assessment**, Landsberg, v. 18, n. 9, p. 1710–1721, 2013. Disponível em: <<http://link.springer.com/10.1007/s11367-012-0463-2>>. Acesso em: 2 abr. 2018.

YU, M.; HALOG, A. Solar Photovoltaic Development in Australia—A Life Cycle Sustainability Assessment Study. **Sustainability**, Basel, v. 7, n. 2, p. 1213–1247, 2015. Disponível em: <<http://www.mdpi.com/2071-1050/7/2/1213>>. Acesso em: 3 abr. 2018.

CAPITULO III

TOMADA DE DECISÃO MULTICRITÉRIO: UMA REVISÃO SOBRE MODELOS PARA APLICAÇÃO CONJUNTA COM AVALIAÇÃO DO CICLO DE VIDA

Resumo

Avaliar a sustentabilidade de produtos exige a gestão de uma ampla gama de dados gerados por diferentes categorias de impacto em diferentes abordagens, como a avaliação do ciclo de vida ambiental (ACV), mensuração de riscos ambientais, custeio do ciclo de vida (CCV), avaliação social do ciclo de vida (SACV), entre outras avaliações. Isto torna complexo o processo de tomada de decisão, devido à constante relação inversa entre variáveis. Dessa forma, métodos de tomada de decisão multicritérios têm sido utilizados com eficácia para integração de variáveis e análise de sustentabilidade, facilitando a tomada de decisão. O objetivo deste artigo foi revisar os principais métodos multicritérios utilizados em conjunto com ACV para análise de sustentabilidade de produtos. Entre os métodos, destacam-se aqueles baseados na Teoria da Utilidade como análise hierárquica de processos (AHP), TOPSIS e VIKOR e métodos *Outranking*, como o PROMETHEE. Destaca-se, ainda, a utilização da Teoria dos Conjuntos *Fuzzy* para lidar com imprecisão de informações. O método AHP tem sido utilizado principalmente para ponderação de variáveis, definindo os pesos entre diferentes critérios. Métodos TOPSIS e VIKOR são eficientes para ranqueamento de diferentes alternativas de forma compensatória, enquanto que o método PROMETHEE possibilita o ranqueamento a pares, de forma não compensatória. A aplicação em conjunto de diferentes modelos, em modelos híbridos, como utilização de AHP, TOPSIS e Teoria dos Conjuntos *Fuzzy* pode resultar em maior confiabilidade e precisão da análise. Desta forma, a utilização de métodos multicritérios em integração com ACV podem proporcionar uma visão mais abrangente da análise, e facilitando a geração de informações e o processo de tomada de decisão.

Palavras-chave: tomada de decisão, MCUT, *outranking*, avaliação de sustentabilidade, análise multicritério.

MULTI-CRITERIA DECISION MAKING: REVIEW ON MODELS TO APPLICATION WITH LIFE CYCLE ASSESSMENT

Abstract

Assess product sustainability requires the management of a range of data generated by different impact categories in different approaches, such as environmental life cycle assessment (LCA), environmental risk, life cycle costing (LCC), social life cycle assessment (S-LCA), other evaluations. This makes the decision-making process complex due to the constant inverse relationship between variables. Multi-criteria decision making methods have been used effectively for variable integration and sustainability analysis, facilitating decision. The focus of this article was to review the main multi-criteria methods used with LCA for product sustainability analysis. Among the methods, the most stand out are those that based on the Utility Theory such as Analytic

Hierarchy Process (AHP), TOPSIS and VIKOR and Outranking methods, such as PROMETHEE. The Fuzzy sets stand out to deal with imprecise information. The AHP method has been used mainly for variable weighting, defining weights between different criteria. Methods TOPSIS and VIKOR are efficient for ranking different alternatives in a compensatory way, while the PROMETHEE method allows the peer ranking in a non-compensatory way. The joint application of different models in hybrid models such as AHP, TOPSIS and Fuzzy sets can result in greater reliability and precision of the analysis. In this way, the use of multi-criteria methods in integration with LCA can provide a more comprehensive view of the analysis, facilitating the generation of information and the decision making process.

Keywords: decision making, MCUT, outranking, sustainability assessment, multicriteria analysis.

1. INTRODUÇÃO

Emissões antrópicas de gases de efeito estufa são tidas como uma das principais contribuições para o aquecimento global, tema constantemente debatido pela comunidade científica e política, com o objetivo de encontrar soluções sustentáveis para execução das atividades realizadas pelo ser humano. No entanto, uma vez que os critérios de sustentabilidade são multidimensionais, abrangendo questões ambientais, econômicas e sociais, de acordo com os três pilares da sustentabilidade do Relatório de Brundtland, soluções verdadeiramente sustentáveis não podem ser alcançadas considerando unicamente uma das três dimensões (WCED, 1987).

Neste contexto, diversas abordagens têm sido propostas para avaliar a sustentabilidade de produtos, com destaque para a Avaliação Sustentável do Ciclo de Vida (ASCV), proposta por Kloepffer (2008). O quadro ASCV consiste em uma metodologia adequada, abrangendo todos os impactos decorrentes durante o ciclo de vida do produto, propondo uma avaliação unificada de aspectos ambientais, econômicos e sociais (ONAT et al., 2016a). Contudo, a integração dos resultados ambientais, econômicos e sociais para comparação entre produtos ou processos tem sido relatada como um dos principais desafios da metodologia, devido a critérios conflitantes, que dificultam a tomada de decisão (ONAT et al., 2016b).

De acordo com Cinelli; Coles e Kirwan (2014), a utilização de métodos de tomada de decisão multicritério (MCDM, do inglês *multi-criteria decision making*) podem auxiliar este processo complexo proporcionando à tomada de decisões informações de forma estruturada, transparente e confiável. Os métodos MCDM consistem em um conjunto de ferramentas adequadas para avaliação de sustentabilidade, considerando seus

diferentes pilares, perspectivas, valores e *stakeholders* (HERVA; ROCA, 2013; HWANG; YONN, 1981). Dessa forma, a integração de métodos MCDM ao quadro ASCV podem fornecer uma visão unificada da sustentabilidade do produto, considerando todo o seu ciclo de vida, auxiliando no processo de tomada de decisão.

Os métodos MCDM consistem em um conjunto de abordagens utilizadas para auxiliar o processo de tomada de decisão quando existem múltiplos critérios, estes geralmente conflitantes. Métodos MCDM geralmente são utilizados para classificar, comparar, identificar e selecionar as melhores soluções de problemas complexos, considerando um número limitado de possíveis alternativas pré-determinadas (ROY, 2013; TZENG; HUANG, 2011). Contudo, a utilização de métodos MCDM deve ser realizada de forma apropriada, uma vez que os métodos possuem diferentes abordagens sendo aplicado à resolução de diferentes problemas (PENADÉS-PLÀ et al., 2016; CINELLI; COLES; KIRWAN, 2014).

Constantemente, diferentes métodos MCDM são aplicados em conjunto em pesquisas para atender diferentes objetivos. Como exemplo, Onat et al. (2016a) utilizaram em conjunto o método TOPSIS e Conjuntos Institucionalista *Fuzzy* para avaliar diferentes tecnologias de veículos alternativos nos Estados Unidos. Com objetivo semelhante Ren et al. (2015) aplicaram em conjunto três diferentes métodos (VIKOR, AHP e Conjuntos Institucionalista *Fuzzy*) para comparar a sustentabilidade de diferentes biocombustíveis na China. Segundo Herva e Roca (2013), a incorporação da Teoria dos Conjuntos *Fuzzy* no processo de tomada de decisão aumentou significativamente, a partir da necessidade de incorporar características de problemas caracterizados por imprecisão ou subjetividade, como critérios sociais por exemplo.

De acordo com Onat et al. (2016a), em um futuro próximo, será imprescindível o uso de métodos MCDM em conjunto com a avaliação do ciclo de vida (ACV) de produtos para o processo de tomada de decisão. Dessa forma, este trabalho tem por objetivo revisar a teoria dos métodos MCDM e apresentar os principais métodos utilizados em conjunto com a ACV para avaliação de sustentabilidade de produtos.

2. TOMADA DE DECISÃO MULTICRITÉRIO

O uso da análise multicritério no processo de tomada de decisão surgiu da década de 60 como um instrumento de apoio a tomada de decisões. Suas aplicações consistem em análises comparativas de diferentes cenários ou projetos, considerando diferentes

critérios de forma simultânea e diversos níveis de complexidade (HWANG; YOON, 1981). De acordo com Roy (2013), vários modelos de análise multicritério foram desenvolvidos pela comunidade científica, com diferentes premissas, entre elas, descrever, classificar, ordenar ou escolher alternativas, considerando aspectos relevantes no processo de tomada de decisão.

Um problema de decisão multicritério é definido como uma situação onde existam ao menos duas possíveis alternativas para execução, sendo que a escolha deve ser direcionada de acordo com os diferentes objetivos escolhidos para análise, geralmente conflitantes entre si (HERVA; ROCA, 2013; TZENG; HUANG, 2011). Os objetivos considerados para comparação das alternativas estão associados às consequências resultantes de sua adoção, também chamados de critérios ou atributos (BHUSHAN; RAI, 2004). Assim, sua aplicação é adequada para o planejamento e modelagem de sistemas, buscando selecionar alternativas que satisfaçam os interesses das partes interessadas, considerando metas, objetivos e possíveis restrições.

Os métodos de tomada de decisão multicritério são classificados em dois tipos: (1) tomada de decisão multicritério (MCDM), também conhecido como tomada de decisão multiatributo (*Multiple Attribute Decision Making – MADM*) e (2) tomada de decisão multiobjetivo (*Multiple Objective Decision Making – MODM*). Métodos MCDM são utilizados para avaliação ou comparação de alternativas, sendo estas associadas a um número limitado de cenários definidos anteriormente, permitindo a classificação, ordenamento e a seleção das melhores alternativas (CINELLI; COLES; KIRWAN, 2014; HERVA; ROCA, 2013). Por outro lado, nos métodos MODM, as alternativas possíveis não são conhecidas ou determinadas anteriormente, considerando um conjunto indefinido de possíveis cenários, cujo a aplicação do método determinará um conjunto de alternativas para a tomada de decisão (REN et al., 2015).

De acordo com Tzeng e Huang (2011), existem duas classificações possíveis para os métodos MCDM, sendo a teoria da utilidade multicritério (*Multiple Criteria Utility Theory – MCUT*), também chamada de utilidade multiatributo (*Multiple Attribute Utility Theory – MAUT*), originários principalmente da escola inglesa e os métodos definidos pela preferência dos decisores (*Outranking Methods*), desenvolvidos principalmente pela escola francesa.

Os métodos MCUT dividem-se em duas fases, a primeira, mensura cada critério individualmente e que, posteriormente, agrega todos os resultados. Desta forma, cada critério é transformado em uma função, considerando uma estrutura hierárquica entre os

critérios de acordo com a preferência dos decisores. O objetivo é avaliar o desempenho de cada critério em relação ao aspecto considerado.

A agregação dos resultados de cada critério é realizada a partir de uma função de utilidade ponderada, incorporando as preferências dos decisores e atribuindo uma pontuação global de cada alternativa, gerando um ranqueamento para determinação da melhor alternativa. Um dos aspectos críticos dessa abordagem consiste na determinação das funções e o ponderamento para cada critério, uma vez que esses parâmetros influenciam diretamente os resultados (PENADÉS-PLÀ et al., 2016).

De acordo com ROY (2013), os métodos baseados na utilidade multicritério representam os principais modelos utilizados para apoio à tomada de decisão. Entre os métodos dessa abordagem, destacam-se a Análise Hierárquica de Processos (AHP), SMART (*Simple Multi-Attribute Rating Technique*), VIKOR (*Vlsekriterijumska Optimizacija I Kompromisno Resenje*) e TOPSIS (*Technique of Order Preference by Similarity to an Ideal Solution*).

Diferentemente dos métodos MCUT, os métodos baseados no julgamento de preferência dos decisores (*Outranking Methods*) não utilizam funções matemáticas complexas para análise, realizando comparações entre pares de alternativas. Assim, os métodos baseados nessa abordagem utilizam relações distintas de preferência para modelar o problema de decisão, comparando as alternativas aos pares para cada critério, ao ponto de identificar uma relação de dominância.

A dominância entre as alternativas consiste no momento em que uma alternativa supera a outra ao menos em um critério, não sendo superada pela outra em nenhum outro critério, sendo a alternativa preferível a que obtiver desempenho superior em maior número de critérios. As principais críticas nesses métodos consistem em problemas de estruturação, agregação de critérios e ao fato de não serem compensatórios. Entre os principais métodos desta classificação, destacam-se o conjunto de métodos PROMETHEE (*Preference Ranking Organization METHods for Enrichment Evaluations*), MACBETH (*Measuring Attractiveness by a Categorical Based Evaluation Technique*) e PROMETHEE ELECTRE (*Elimination Et Choix Traduisant la Réalité*).

2.1 Método AHP

O método AHP (*Analytic Hierarchy Process*) foi proposto por Saaty (1980), usando equações matemáticas simples para ponderação de critérios qualitativos e

quantitativos, com o objetivo de auxiliar no processo de decisão a partir da resolução de conflitos entre variáveis e definição de prioridades (ILGIN; BATAÏA, 2015; HERVA; ROCA, 2013; BHUSHAN; RAI, 2004). Sua aplicação permite priorizar alternativas quando estão em estudo vários critérios de decisão, possibilitando que o decisor consiga estruturar problemas mais complexos hierarquicamente (CINELLI; COLES; KIRWAN, 2014; TZENG; HUANG, 2011). Em sua aplicação, primeiramente o problema é dividido em uma hierarquia de diferentes níveis, constituída do objetivo, critérios e alternativas.

A partir desta divisão por hierarquia, os elementos são comparados aos pares avaliando o desempenho das alternativas em cada critério. Avaliando os critérios de níveis inferiores e multiplicando por cada peso, permite-se a avaliação do próximo nível de critério (PENADÉS-PLÀ et al., 2016; BHUSHAN; RAI, 2004). Assim, todas as alternativas são comparadas em relação aos critérios, classificadas em uma escala variando entre 1 e 9, sendo 1 indicando preferência igual e 9 indica uma preferência absoluta (SAATY, 1980).

O método AHP possibilita decompor o problema em uma hierarquia de sub-problemas, permitindo sua compreensão e avaliação com maior facilidade. Ao reduzir as decisões complexas, o método AHP auxilia o decisor a determinar a melhor alternativa para a tomada de decisão. De acordo com Tzeng e Huang (2011), sua metodologia pode ser representada em cinco etapas:

Etapa 1 – Consiste na decomposição do problema em uma hierarquia de acordo com os objetivos, critérios e alternativas, geralmente representado por uma árvore invertida. Assim, no primeiro nível estão os objetivos do processo de decisão, no segundo nível os critérios de avaliação, podendo ser divididos em sub-critérios mais específicos em níveis inferiores. No último nível da hierarquia estão dispostas as alternativas que serão selecionadas de acordo com os critérios dos níveis superiores. A Figura 1 apresenta um modelo genérico da estrutura do método AHP, representado em três níveis.

Etapa 2 – Nesta fase são selecionados especialistas e pessoas envolvidas no processo de tomada de decisão para comparar as alternativas aos pares em cada um dos critérios, utilizando a seguinte escala: igual, moderada, forte, intensa e extrema (Tabela 1). Dessa forma, um peso numérico é atribuído para cada critério da hierarquia, permitindo a comparação entre elementos que sejam difíceis de quantificar. Essa característica consiste

em uma das principais vantagens do método AHP sobre os outros métodos de decisão multicritério.

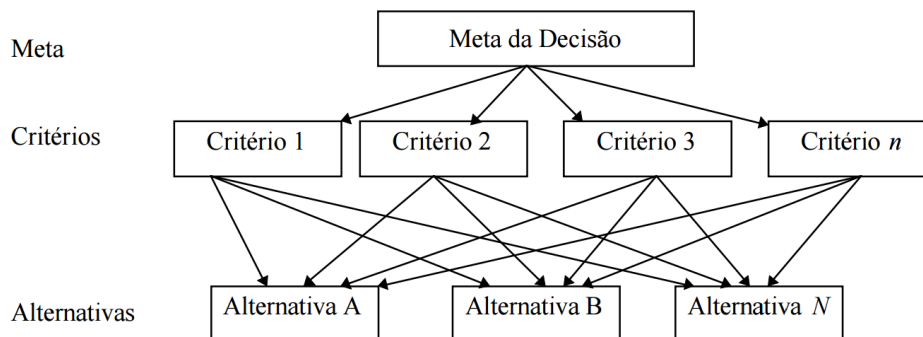


Figura 1 – Estrutura hierárquica do método AHP
Fonte: Adaptado de Saaty (1980).

Etapa 3 – Os resultados das comparações aos pares da etapa 2 são organizados em uma matriz quadrada, chamada de matrizes de reciprocidade, tendo o valor de 1 fixo para toda sua diagonal principal. Dessa forma, se o valor do elemento (i,j) for superior a 1, o critério da linha i será superior ao critério da linha j, ao contrário, o critério da linha j será superior ao critério da linha i.

Tabela 1: Modelo de intensidade de preferência de alternativas do método AHP.

Intensidade de preferência	Avaliação	Pontuação
Igual	Igual contribuição entre os critérios	1
Moderada	Um dos critérios prevalece sobre o outro, devido à experiência	3
Forte	A experiência faz com um dos critérios seja favorecido fortemente	5
Intensa	Podendo ser demonstrada na prática, um dos critérios é fortemente favorecido	7
Extrema	A própria evidência e a realidade demonstram que um critério é melhor, com alta confiabilidade	9
Valores intermédios	Situações em que se procura uma condição de compromisso entre critérios	2, 4, 6, 8

Fonte: Adaptado de Bhushan e Rai (2004).

Etapa 4 – Obtêm-se os valores relativos dos critérios normalizados a partir do maior valor retirado da matriz de comparação. Os elementos para normalização do vetor são determinados por meio da ponderação obtida das avaliações relativas às alternativas. Etapa 5 – A classificação das alternativas é obtida por meio da multiplicação dos pesos de todos os elementos da linha que conduz a alternativa adicionando a soma dos pesos de todos os outros caminhos que levam a esta mesma alternativa. Ao fim, a ordenação das

pontuações apresenta um ranque das alternativas, o qual apresenta a melhor opção para a tomada de decisão.

O método AHP fornece uma abordagem apropriada para indicar fatores de ponderação em problemas de tomada de decisão com múltiplos critérios, permitindo uma análise simultânea de critérios qualitativos e quantitativos em uma estrutura multinível (MAHMOODZADEH et al., 2007). Com o objetivo de aproveitar essa vantagem do método, várias pesquisas têm utilizado abordagens híbridas, utilizando o método AHP para ponderar as variáveis e outros métodos de tomada de decisão multicritério para a resolução do problema (PENADÉS-PLÀ et al., 2016; REN et al., 2015).

2.2 Método TOPSIS

O método TOPSIS (*Technique for Order Preference by Similarity to the Ideal Solution*) foi proposto por Hwang e Yoon em 1981, uma das abordagens clássicas de MCDM mais utilizadas para auxílio à tomada de decisão a partir do ordenamento das alternativas (HWANG; YOON, 1981). A base da abordagem TOPSIS é que a melhor alternativa consiste naquela que tem simultaneamente a menor distância da solução ideal positiva e a maior distância da solução ideal negativa (ONAT et al., 2016a; TZENG; HUANG, 2011). Dessa forma, a alternativa ideal é representada pela alternativa com melhor pontuação em cada critério, sendo um método de agregação compensatório, o qual compara um conjunto de alternativas ponderando cada critério, normaliza suas pontuações e determina a distância geométrica de cada alternativa a alternativa ideal (MAHMOODZADEH et al., 2007).

O método inicia a partir de uma matriz $[A]$, composta pelos atributos (x) e critérios (j), os quais são normalizados para uma nova matriz, denominada $[R]$. O processo de normalização dos dados irá padronizar os valores, evitando possíveis *outliers*, podendo ser por meio de uma normalização linear ou por vetor. A normalização por vetor consiste no processo comumente aplicado, realizada a partir da divisão de cada atributo i por uma equação, a qual resulta no valor normalizado r por meio da equação 1:

$$r_{ij} = \frac{x_{ij}}{\sqrt{\sum_{i=1}^m x_{ij}^2}} \quad (1)$$

Com os valores normalizados, é realizada a ponderação dos atributos por meio da multiplicação dos mesmos ao peso de cada critério definido pelo avaliador. Após a ponderação, é determinado o maior valor positivo possível para cada critério (A^+) e o

menor valor possível, ou seja, a situação negativa (A^-). Após a definição desses valores, são calculados e somados os desvios padrões de cada critério em relação aos valores máximos positivos e negativos, utilizando as equações 2 e 3:

$$S_i^+ = \sqrt{\sum_{j=1}^m (v_{ij} - v_j^+)^2} \quad (2)$$

$$S_i^- = \sqrt{\sum_{j=1}^m (v_{ij} - v_j^-)^2} \quad (3)$$

Após calcular o desvio padrão de cada critério, o passo final é determinar a aproximação das situações em relação às situações ideais positivas e negativas (C^+), com a equação 4:

$$C_i^+ = \frac{S_i^-}{(S_i^+ + S_i^-)} \quad (4)$$

Determinado os valores de C^+ , os valores são ranqueados de forma decrescente, resultando em uma ordem lógica das melhores alternativas possíveis. Segundo Onat et al. (2016b), fornece resultados efetivos para cada alternativa consiste em uma das vantagens do método TOPSIS quando comparado a outros métodos MCDM.

2.3 Método VIKOR

O Método VIKOR (Vlse Kriterijumska Optimizacija I Kompromisno Resenje, em sérvio), foi proposto por Oprovic em 1998, determinando a lista de compromissos, a solução de compromissos e os intervalos de ponderação dos compromissos, obtido por meio dos pesos iniciais (ILGIN; BATAÏA, 2015). Similar ao método TOPSIS, no método VIKOR o objetivo é estabelecer um ranqueamento das alternativas em relação ao cenário ideal, no entanto, para estabelecer o ranqueamento das alternativas, usa-se funções de agregação, mensuração e diferentes métricas para normalização (ROY, 2013).

Desta forma, o método VIKOR utilizada métricas de normalização linear, diferentemente do TOPSIS. Outra característica é que o método considera somente a distância das alternativas em relação ao cenário ideal positivo, o que segundo Tzeng e Huang (2011) proporciona um ranqueamento mais estável entre as alternativas quando comparado ao método TOPSIS.

A aplicação do método VIKOR pode ser descrita de forma análoga em três fases:

Fase 1: Consiste na identificação dos valores de $f_j^* = \max f_{ij}$, sendo o valor máximo obtido pela variável i e $f_j^- = \min f_{ij}$, sendo o valor mínimo para a variável i , contudo, podem haver situações onde o valor máximo seja descrito como “quanto maior melhor” e o valor mínimo “quanto menor melhor”.

Fase 2: Determinar os valores de S_i e R_i para $i= 1, 2, 3...n$ utilizando as equações 5 e 6:

$$S_i = \sum_{j=1}^m \left[\frac{w_j(f_j^* - f_{ij})}{(f_j^* - f_j^-)} \right] \quad (5)$$

$$R_i = \max_j \left[\frac{w_j(f_j^* - f_{ij})}{(f_j^* - f_j^-)} \right] \quad (6)$$

Fase 3 – Calcular o valor de Q_i para $i= 1, 2, 3...n$ a partir da equação 7:

$$Q_i = \frac{v(S_i - S^*)}{S^- - S^*} + \frac{(1-v)(R_i - R^*)}{R^- - R^*} \quad (7)$$

Na fase 3, o peso v consiste em uma ponderação definida como um critério majoritário na função, a qual geralmente é atribuída o valor de $v=0,5$. Tzeng e Huang (2011) apontam que esse critério pode sofrer alterações para otimizar hipóteses de robustez de classificação do método.

Diferentemente do método TOPSIS, o método VIKOR apresenta como resultado final três *scores* sendo S e R com preferência nos maiores valores e Q com preferência nos *scores* menores (HWANG; YOON, 1981). Desta forma, a melhor alternativa pode ser determinada a partir de duas condições:

Condição 1: a' possui “Vantagem Aceitável” sobre as demais se quando comparada com a'' (alternativa imediatamente posterior) for verificado que: $Q(a'') - Q(a') \geq DQ$ e $DQ = 1/(n - 1)$.

Condição 2: a' tem “Estabilidade aceitável na tomada de decisão” se além de melhor em Q , também for melhor em S e/ou R . Geralmente esta é a condição quando utilizado o valor de $v = 0,5$.

Segundo HWANG e YOON (1981), mesmo com o método VIKOR sendo classificado como MAUT, apresenta características e resultados semelhantes aos métodos *Outranking*, por causa do sistema de comparação final dos *scores*. O método VIKOR consiste em um modelo útil na tomada de decisão multicritério, particularmente em situações onde o tomador de decisão não é capaz de distinguir, ou não sabe expressar sua preferência sobre as alternativas no início (TZENG; YANG, 2011). Nessas situações, é

utilizado variáveis categóricas (quanto maior melhor) e (quanto menor melhor) para cálculo de S_i e R_i com maior precisão.

2.4 Família de métodos PROMETHEE

O método PROMETHEE (*Preference Ranking Organization Method for Enrichment Evaluation*) foi desenvolvido por Brans, Vincke e Mareschal em 1986, sendo um método de sobreclassificação de critérios (*outranking methods*) (BRANS e MARESCHAL, 2005; BRANS; VINCKE; MARESCHAL, 1986). O método baseia-se na comparação das alternativas entre pares, criando um nível de relação, com o objetivo de identificar o grau de dominação de uma alternativa sobre a outra e selecionar critério conflitantes (PENADÉS-PLÀ et al., 2016). Uma das vantagens do método PROMETHEE é que permite a operação direta sobre os critérios incluídos na matriz de decisão, não sendo necessário a realização de normalização dos valores (HWANG; YOON, 1981; TZENG; HUANG, 2011).

A aplicação do método PROMETHEE possibilita a construção de uma relação de classificação entre os valores, proporcionando um melhor entendimento no processo decisório. Desta forma, o método envolve conceitos e parâmetros que possuem interpretação física ou econômica, o que é facilmente entendido pelos decisores (ILGIN e BATTAÏA, 2015). Segundo Brans e Mareschal (2005), a aplicação do método é representada em duas fases:

(i) Construção de uma relação de sobreclassificação, agregando informações entre as alternativas e os critérios.

(ii) Exploração da relação de sobreclassificação para apoio a decisão, por meio da aplicação de um algoritmo.

Na primeira fase, os decisores estabelecem individualmente para critério um peso, o qual aumenta ou diminui a importância do critério. A partir disto, uma função Fuzzy assumem valores entre 0 e 1 de acordo com o desempenho das alternativas em relação à preferência dos decisores, com o valor aumentando caso a vantagem de uma alternativa sobre outra aumente ou igual a 0, caso o desempenho seja igual ou inferior. Assim, estabelece o grau de superação entre as alternativas aos pares, ordenadas a partir da diferença de pontuação. Já na segunda fase, é utilizado um índice de preferência multicritério para representar as preferências dos decisores, representado a partir da

avaliação dos fluxos de entrada e saída de cada alternativa por meio de um fluxo de influência.

De acordo com Tzeng e Huang (2011), os métodos da família PROMETHEE podem ser classificados de acordo com os seguintes objetivos:

- PROMETHEE I: Utilizado para a problemática de ordenação, apresenta uma pré-ordem parcial.
- PROMETHEE II: Proporciona um ordenamento entre as alternativas por meio de uma pré-ordem completa.
- PROMETHEE III: Este método amplia a noção de indiferença, realiza um tratamento probabilístico entre os fluxos.
- PROMETHEE IV: Utilizado para a problemática de escolha e ordenação, apresenta uma pré-ordem completa ou parcial.
- PROMETHEE V: Para as alternativas selecionadas, incorpora-se a otimização inteira por meio de uma ordenação completa das alternativas.
- PROMETHEE VI: Utilizado para a problemática de escolha e ordenação por meio de uma pré-ordem completa ou parcial. Adequado para casos em que o decisor não consegue determinar os pesos dos critérios.
- PROMETHEE – GAIA: Utiliza um procedimento interativo e visual.

2.5 Teoria dos Conjuntos *Fuzzy*

A noção de lógica *Fuzzy* foi introduzida à teoria dos conjuntos pelo matemático Lotfali Askar-Zadeh com a seguinte justificativa: na maioria das vezes, as classes de objetos encontrados no mundo real não têm critérios bem definidos como na lógica clássica (TZENG; HUANG, 2011; ATANASSOV, 1986). Diferentemente da lógica clássica booleana, com a utilização de equações exatas e valores numéricos precisos, a lógica *Fuzzy* proporciona uma nova forma de pensar, possibilitando a modelagem de sistemas complexos com maior nível de abstração do conhecimento e experiência do usuário, assemelhando-se ao raciocínio humano em relação ao uso de informações imprecisas para alcançar as decisões (PENADÉS-PLÀ et al., 2016; AGARSKI et al., 2016).

A lógica *Fuzzy* consiste em uma abordagem que utiliza variáveis linguísticas para classificar um determinado cenário, com a utilização de variáveis incertas, possibilitando

o cálculo computacional. Assim, enquanto a lógica clássica possibilita dois possíveis resultados [0,1], a lógica *Fuzzy* pode ser descrita como um valor que percorre entre [0,1]. Desta forma, a lógica *Fuzzy* consiste em uma metodologia adequada para raciocínio aproximado ou impreciso de informações, facilitando a tomada de decisão a partir de informações incerta ou incompleta (AGARSKI et al., 2016; GUMUS; KUCUKVAR e TATARI, 2016).

A aplicação da lógica *Fuzzy* pode ser representada por três etapas: fuzzificação, inferência e defuzzificação. A fuzzificação consiste na etapa em que são definidas as variáveis linguísticas de forma subjetiva e funções de pertinência para cada variável. As funções de pertinência podem ser representadas de diversas formas, sendo geralmente utilizadas funções triangulares e trapezoidais. Após a definição da função de pertinência, é realizada a inferência, sendo a etapa em que as proposições, ou seja, regras são definidas para depois serem examinadas paralelamente. A proposição pode ser definida como um mecanismo chave para o modelo *Fuzzy*, ocasionando o relacionamento entre as variáveis do modelo e regiões *Fuzzy*. De acordo com Penadés-Plà et al. (2016), a determinação de regras simplifica o trabalho do usuário, resultando em representações muito mais precisas do modo como os sistemas se comportam no mundo real. A terceira etapa é a defuzzificação, onde as regiões resultantes da inferência entre as variáveis são convertidas em valores para a saída do sistema. Essa etapa é caracterizada por ser a ligação entre as regiões *Fuzzy* e o valor esperado.

2.6 Modelos híbridos MCDM aplicados à ACV

Nos últimos anos, a necessidade de incorporar um maior volume de critérios para avaliação da sustentabilidade de produtos resultou na demanda de novas perspectivas para tomada de decisão. Esta tendência pode ser confirmada pelo crescimento de estudos utilizando diferentes métodos MCDM em conjunto, desenvolvendo abordagens híbridas que permitam facilitar a tomada de decisão considerando diferentes perspectivas. Dessa forma, a Tabela 2 apresenta alguns estudos com aplicações conjuntas de diferentes métodos MCDM em conjunto com ACV.

Entre os modelos multicritério, a Teoria dos Conjuntos *Fuzzy* tem sido amplamente utilizada para lidar com a incerteza de informações, principalmente quando há necessidade de conversão de variáveis qualitativas em quantitativas. Gumus; Kucukvar e Tatari, 2016 (2016) apontam que a Teoria dos conjuntos *Fuzzy* tem sido

aplicada de forma eficiente conjuntamente à modelos de tomada de decisão multicritério, facilitando o gerenciamento de variáveis qualitativas e quantitativas (GUMUS; KUCUKVAR e TATARI, 2016). De acordo com Ren et al. (2015), o crescimento da utilização da Teoria dos Conjuntos *Fuzzy* deve-se a necessidade de inclusão de critérios qualitativos sobre aspectos sociais referentes ao ciclo de vida de produtos, sendo uma forma de quantifica-los para integração com diferentes variáveis.

Tabela 2 – Exemplo de aplicações conjuntas de modelos multicritérios com ACV.

Autor	Ano	Objetivo	Método
Jayawickrama, Kulatunga, Mathavan	2017	Propõe um modelo para avaliar a sustentabilidade de indústrias, avaliando diferentes modelos de instalações disponíveis.	AHP e Lógica <i>Fuzzy</i>
Arikan et al.	2017	Avaliam diferentes alternativas para tratamento de resíduos sólidos para Istambul, Turquia.	PROMETHEE, TOPSIS e Lógica <i>Fuzzy</i>
Gumus; Kucukvar e Tatarı	2016	Propuseram um método genérico de 9 passos utilizando lógica <i>fuzzy</i> e o método TOPSIS para resolver problemas de tomada de decisão de fontes de energia sustentáveis, usando entropia <i>Fuzzy</i> , operadores IFWGA e IFWAA.	TOPSIS e Lógica <i>Fuzzy</i>
Onat et al.	2016	Propõem um modelo de ACV híbrido, utilizando uma matriz de insumo-produto e vários indicadores macroeconômicos em conjunto com métodos multicritério de tomada de decisão para avaliação de diferentes alternativas de veículos para os Estados Unidos.	TOPSIS E Lógica <i>Fuzzy</i>
Wang et al.	2015	Apresenta um método abrangente integrando ACV, Lógica <i>Fuzzy</i> e TOPSIS <i>Fuzzy</i> para avaliação do desempenho ambiental de diferentes projetos.	Lógica <i>Fuzzy</i> e TOPSIS <i>Fuzzy</i>
Akman	2015	Determinar o desempenho ambiental de fornecedores e definir quais fornecedores precisam melhorar suas condições sobre questões ambientais e identificar quais fornecedores devem ser incluídos nos programas de desenvolvimento de fornecedores verdes, para melhorar seu desempenho ambiental.	VIKOR, Lógica <i>Fuzzy</i>
Rostamzadeh et al.	2015	Mensurar os indicadores de gestão da cadeia de suprimentos verdes para uma fabricante de computadores portáteis na Malásia.	VIKOR e Lógica <i>Fuzzy</i>
Ren et al.	2015	O artigo apresenta dois objetivos: combinar a Avaliação de sustentabilidade do ciclo de vida (ASCV) e metodologia multicritério de tomada de decisão (MCDM) para avaliação da sustentabilidade e (ii) determinação da sustentabilidade da produção de bioetanol na China de acordo com as preferências dos decisores.	AHP, VIKOR e Lógica <i>Fuzzy</i>
Chan; Wang; Raffoni	2014	Propor um método integrando os conceitos de ACV, custeio do ciclo de vida, Lógica <i>Fuzzy</i> e AHP para avaliar o desempenho ambiental e organizacional de diferentes projetos.	AHP e Lógica <i>Fuzzy</i>
Kucukvar et al.	2014	Propuseram um método de tomada de decisão utilizando Lógica <i>Fuzzy</i> que é aplicado para classificar o desempenho de sustentabilidade do ciclo de vida de diferentes alternativas de pavimento.	Lógica <i>Fuzzy</i> e TOPSIS
Pires; Chang e Martinho	2011	Avaliar alternativas para auxiliar os tomadores de decisão na seleção das melhores práticas de gestão de resíduos na Península de Setúbal, Portugal	AHP, TOPSIS e Lógica <i>Fuzzy</i>

Ao gerenciar uma ampla gama de variáveis, sendo elas quantitativas e/ou qualitativas, abordando diferentes dimensões da sustentabilidade, uma das dificuldades relatadas nos estudos têm sido determinar os pesos das variáveis para aplicação dos métodos multicritérios. Isto ocorre porque o peso de cada variável pode ser diferente de acordo com a perspectiva de cada parte interessada no projeto (CHAN; WANG; RAFFONI, 2014). Desta forma, a análise AHP tem sido utilizada em diferentes estudos (JAYAWICKRAMA; KULATUNGA; MATHAVAN, 2017; REN et al., 2015; PIRES; CHANG; MARTINHO, 2011) para determinar a ponderação das variáveis, considerando os *stakeholders* do processo em análise.

Uma característica importante é que todos os estudos que utilizaram AHP para ponderação de variáveis utilizaram em conjunto com a Teoria dos Conjuntos *Fuzzy*, uma vez que a utilização de funções de pertinência facilita o processo de conversão das variáveis qualitativas. No entanto, Ren et al. (2015) destacam que a aplicação da Teoria dos Conjuntos *Fuzzy* pode gerar dificuldade de compreensão da análise, devido à falta de conhecimento dos decisores sobre a teoria, ocasionando incerteza no processo de tomada de decisão.

3 CONCLUSÕES

Avaliar a sustentabilidade de produtos considerando questões ambientais, econômicas e sociais, consiste em um aspecto primordial para um consumo mais sustentável, possibilitando informações que direcionem o consumo. Este trabalho avaliou cinco diferentes métodos multicritérios (AHP, TOPSIS, VIKOR, PROMETHEE e Teoria dos Conjuntos *Fuzzy*) que podem ser aplicados em conjunto com ACV para avaliação da sustentabilidade de produtos.

Avaliar a sustentabilidade de produtos em uma perspectiva de ciclo de vida necessita considerar diferentes critérios, com uma ampla variedade de tipologia de dados e diferentes níveis de incerteza. Métodos MCDM atendem estes requisitos, permitindo a manipulação conjunta de dados quantitativos e qualitativos além possibilitar a realização de análise de sensibilidade para validação dos resultados. Contudo, é exigida experiência do usuário para seleção do método, uma vez que os métodos possuem diferentes características, sendo aplicados em trabalhos distintos. Da mesma forma, a definição de critérios e ponderação de variáveis podem comprometer diretamente os resultados.

Uma vez que estudos de ACV compreendem um grande número de variáveis, diferentes critérios, ponderações e objetivos, a utilização de modelos híbridos com aplicação conjunta, podem resultar em avaliações com maior precisão e redução da incerteza. Como exemplo, o método AHP demonstrou ser eficiente para ponderação de variáveis para utilização em diferentes métodos MCDM e a integração da Teoria dos Conjuntos *Fuzzy* aos modelos VIKOR e TOPSIS se mostrou adequado para lidar com dados quantitativos e qualitativos em uma mesma análise. Neste aspecto, a utilização de métodos multicritérios possibilita apoiar o processo de tomada de decisão considerando todas as externalidades geradas no ciclo de vida do produto, e, assim, integrando todos os pilares da sustentabilidade.

4 Referências

AGARSKI, B. et al. Fuzzy multi-criteria-based impact category weighting in life cycle assessment. **Journal of Cleaner Production**, [Amsterdam], v. 112, p. 3256–3266, 2016. Disponível em:

<<https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0959652615013049>>. Acesso em: 7 jun. 2017.

AKMAN, G. Evaluating suppliers to include green supplier development programs via fuzzy c-means and VIKOR methods. **Computers & Industrial Engineering**, Volume 86, August 2015, Pages 69-82, ISSN 0360-8352, <http://dx.doi.org/10.1016/j.cie.2014.10.013>.

ARIKAN, E; et al. Solid waste disposal methodology selection using multi-criteria decision making methods and an application in Turkey. **Journal of Cleaner Production**, Volume 142, Part 1, 20 January 2017, Pages 403-412, ISSN 0959-6526, <http://dx.doi.org/10.1016/j.jclepro.2015.10.054>.

ATANASSOV, K. T. Intuitionistic fuzzy sets. **Fuzzy Sets and Systems**, Netherlands, v. 20, n. 1, p. 87–96, 1986. Disponível em: <<https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0165011486800343>>. Acesso em: 7 jun. 2017.

BHUSHAN, N.; RAI, K. **Strategic decision making** : applying the analytic hierarchy

process. London: Springer, 2004.

BRANS, J. P.; VINCKE, P.; MARESCHAL, B. How to select and how to rank projects: The Promethee method. **Research**, Amsterdam, v. 24, n. 2, p. 228–238, 1986.

Disponível em:

<<https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/0377221786900445>>. Acesso em: 7 jun. 2017.

BRANS, Jean-Pierre; MARESCHAL, Bertrand. PROMETHEE methods. In: **Multiple criteria decision analysis: state of the art surveys**. Springer New York, 2005. p. 163–186.

CHAN, H. K.; WANG, X.; RAFFONI, A. An integrated approach for green design:

Life-cycle, fuzzy AHP and environmental management accounting. **The British**

Accounting Review, [London], v. 46, n. 4, p. 344–360, 2014. Disponível em:

<<https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0890838914000651>>. Acesso em: 7 jun. 2017.

CINELLI, M.; COLES, S. R.; KIRWAN, K. Analysis of the potentials of multi criteria decision analysis methods to conduct sustainability assessment. **Ecological Indicators**,

[Germany], v. 46, n. Supplement C, p. 138–148, 2014. Disponível em:

<<http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S1470160X14002647>> Acesso em: 12 jan. 2017.

GUMUS, S.; KUCUKVAR, M.; TATARI, O. Intuitionistic fuzzy multi-criteria decision making framework based on life cycle environmental, economic and social impacts:

The case of U.S. wind energy. **Sustainable Production and Consumption**,

[Amsterdam], v. 8, p. 78–92, 2016. Disponível em:

<<https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S2352550916300112>>. Acesso em: 18 mar. 2018.

HERVA, M.; ROCA, E. Review of combined approaches and multi-criteria analysis for corporate environmental evaluation. **Journal of Cleaner Production**, [Amsterdam], v.

39, n. Supplement C, p. 355–371, 2013. Disponível em:

<<http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0959652612004040>> Acesso em: 10 jan. 2017.

HWANG, C.-L.; YOON, K. **Multiple Attribute Decision Making**. Berlin, Heidelberg: Springer, 1981. v. 186. Disponível em: <<http://link.springer.com/10.1007/978-3-642-48318-9>>. Acesso em: 7 jun. 2017.

ILGIN, M. A.; BATAÏA, O. Use of MCDM techniques in environmentally conscious manufacturing and product recovery: State of the art. **Journal of Manufacturing Systems**, [Amsterdam], v. 37, p. 746–758, 2015. Disponível em: <<https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0278612515000424>>. Acesso em: 7 jun. 2017.

JAYAWICKRAMA, H. M. M. M.; KULATUNGA, A. K.; MATHAVAN, S. Fuzzy AHP based Plant Sustainability Evaluation Method. **Procedia Manufacturing**, [Amsterdam], v. 8, p. 571–578, 2017. Disponível em: <<https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S2351978917300793>>. Acesso em: 7 jun. 2017.

KLOEPFFER, W. Life cycle sustainability assessment of products. **The International Journal of Life Cycle Assessment**, Landsberg, v. 13, n. 2, p. 89–95, 2008. Disponível em: <<http://www.springerlink.com/index/10.1065/lca2008.02.376>>. Acesso em: 2 abr. 2018.

MAHMOODZADEH, S. et al. Project selection by using fuzzy AHP and TOPSIS technique. **International Journal of Human and social sciences**, Paris, v. 1, n. 3, p. 135–140, 2007.

ONAT, N. C. et al. Application of the TOPSIS and intuitionistic fuzzy set approaches for ranking the life cycle sustainability performance of alternative vehicle technologies. **Sustainable Production and Consumption**, [Amsterdam], v. 6, n. Supplement C, p. 12–25, 2016b. Disponível em: <<http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S2352550915000469>> Acesso em: 10 jan. 2017.

ONAT, Nuri Cihat et al. Combined application of multi-criteria optimization and life-cycle sustainability assessment for optimal distribution of alternative passenger cars in US. **Journal of Cleaner Production**, v. 112, p. 291–307, 2016a.

PENADÉS-PLÀ, V. et al. A Review of Multi-Criteria Decision-Making Methods

Applied to the Sustainable Bridge Design. **Sustainability**, Basel, v. 8, n. 12, 2016.

PIRES, A.; CHANG, N.-B.; MARTINHO, G. An AHP-based fuzzy interval TOPSIS assessment for sustainable expansion of the solid waste management system in Setúbal Peninsula, Portugal. **Resources, Conservation and Recycling**, Amsterdam, v. 56, n. 1, p. 7–21, 2011. Disponível em:

<<https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0921344911001650>>. Acesso em: 7 jun. 2018.

REN, J. et al. Prioritization of bioethanol production pathways in China based on life cycle sustainability assessment and multicriteria decision-making. **The International Journal of Life Cycle Assessment**, Landsberg, v. 20, n. 6, p. 842–853, 2015.

Disponível em: <<http://link.springer.com/10.1007/s11367-015-0877-8>>. Acesso em: 2 abr. 2018.

ROSTAMZADEH, R. et al. Application of fuzzy VIKOR for evaluation of green supply chain management practices. **Ecological Indicators**, [Germany], v. 49, p. 188–203, 2015. Disponível em:

<<https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S1470160X14004774>>. Acesso em: 3 maio. 2018.

ROY, B. Paradigms and Challenges. In: **MULTIPLE Criteria Decision Analysis: State of the Art Surveys**. New York: Springer-Verlag, 2013. p. 3–24.

SAATY, R. W. The analytic hierarchy process—what it is and how it is used.

Mathematical Modelling, New York, v. 9, n. 3–5, p. 161–176, 1987. Disponível em:

<<https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/0270025587904738>>. Acesso em: 7 jun. 2017.

TZENG, G.-H.; HUANG, J.-J. **Multiple attribute decision making: methods and applications**. Boca Raton : CRC press, 2011.

WCED. **Our common future**. Brundtland: Oxford: Oxford University Press, 1987a.

Disponível em: <<http://www.un-documents.net/our-common-future.pdf>> Acesso em: 18 jun. 2016.

CAPÍTULO IV

APPLICATION OF THE MULTIPLE CRITERIA DECISION-MAKING (MCDM) APPROACH IN THE IDENTIFICATION OF CARBON FOOTPRINT REDUCTION ACTIONS IN THE BRAZILIAN BEEF PRODUCTION CHAIN

Abstract

Global awareness regarding the effects of Climate Change has led to a more restrictive society and demanding concerned with Greenhouse Gas Emissions associated with consumption. In this context, the livestock sector is seen as a major contributor to various impacts, as it is implemented throughout different climatic zones, with high variations in production and food systems, which, in turn, present direct impacts on productivity and environmental externalities. In this context, the aim of this study was to rank possible improvement actions that allow the reduction of the Carbon Footprint originated from Brazilian beef exports considering multiple criteria, from the identification of the impact profile associated with the final product. Thus, the Carbon Footprint was first estimated considering the production phase, in the Brazilian Central-West, and beef processing and transport until its delivery at three main final export destinations: Rotterdam, Shanghai and St. Petersburg. Subsequently, multicriteria decision-making methods were applied in order to quantify and rank possible improvement actions, with the joint application of the Fuzzy Set Theory and the TOPSIS method. Finally, the criteria are presented in the form of a SWOT (Strengths, Weaknesses, Opportunities and Threats) matrix for each evaluated alternative. The animal production stage represented the main impacts of Climate Change on the product system (over 98% for all export destinations) due to the digestive fermentation of the animals, leading to methane emissions. The option to implement improvement actions for the evaluated productive arrangement, the use of protein-energetic supplementation and pasture fertilization-rotation in the animal production phase, alongside the replacement of road transport units by more modern vehicles in the industrial phase, were identified as alternatives that decrease the impact potential and facilitate the animal production phase. In this sense, the results point to possible improvements that, in addition to presenting low restrictions for implementation, can significantly reduce the beef Carbon Footprint. Improving Brazilian efficiency in terms of Carbon Footprint in this production chain can, in addition to provide a strategic differential concerning production and commercialization, contribute to reduce environmental impacts resulting from the sector

at a global level. However, it is necessary to search for measures that facilitate the implementation of these actions, mainly at the rural producer level, considering both technical aspects and the qualification, training, consulting and financial aspects, such as credit and subsidies, improving the environmental performance of this arrangement with a view to balancing it with the other dimensions.

Keywords: Life Cycle Management, meat export, multicriteria analysis, enteric fermentation, beef cattle

1. INTRODUCTION

Global awareness regarding the potential effects of Climate Change has led to a more restrictive and demanding society concerned with Greenhouse Gas (GHG) emissions associated with consumer goods. This behavior also extends to certain foodstuffs, such as cattle beef which, in addition to leading to significant methane (CH₄) and dinitrogen oxide (N₂O), emissions, makes regular use of export activities to supply market demands (STEINFELD et al., 2006; WIEDEMANN et al., 2015). According to the US Department of Agriculture the world's cattle herd has exceeded 1 billion animals (USDA, 2016). Livestock activities take place throughout different climatic zones, with high variations in the production and feeding systems, which generate direct impacts on productivity and environmental externalities (VEYSSET et al., 2014). These characteristics make the sector responsible for about 15% of the planet's accumulated GHG emissions, with approximately 44% of this total being CH₄ resulting from cattle enteric fermentation (GERBER et al., 2013; RUVIARO et al., 2016). Conversely, the livestock sector exhibits high rates of carbon removal from the air, in the form of carbon dioxide (CO₂), due to absorption by pastures, expected to range from 45-60 t C.ha⁻¹ in 20 years (DE OLIVEIRA SILVA et al., 2016).

Brazil is an important player in the international livestock segment, comprising about 22% of the world's cattle population (216 MM heads) and producing 15% of all beef (9.3 MMt) consumed in 2016. Thus, the country became the major exporter of this product concerning monetary value during this period, with a revenue of US\$ 5.5 billion (USDA, 2016). In this scenario, obtaining satisfactory environmental indices, especially in terms of Carbon Footprint (CF), can provide Brazilian producers with a strategic differential

that allows them to maintain (or increase) holdings in their operational markets, as well as occupy niches currently dominated by competitors.

A methodical approach to achieving this objective consists in determining beef-associated CF, identifying potential CF sources, and proposing improvement actions that may mitigate or even eliminate its influence. In order lead to effective actions in this regard, it is desirable to obtain a consistent diagnosis that quantitatively describes Climate Change impacts associated with the supply chain of the product under a life cycle perspective, from the preparation of livestock resources (e.g. pasture), to final meat distribution in the consumer market, including the cattle raising, slaughtering, and meat processing steps.

For many academics, analyzing livestock production from a life-cycle point of view allows for the understanding and identification of potential GHG emission sources GHG (DICK; ABREU DA SILVA and DEWES, 2015; FLORINDO et al., 2017, MAZZETTO et al. 2015 and RUVIARO et al., 2016). On the other hand, these authors also consider that any improvement proposals to be implemented in this productive chain should be evaluated in a broad, systemic and interconnected way, due to the dependency relations established in the beef cycle, based on trade-offs between these same improvement actions and their environmental interactions. A robust, and at the same time conceptual, way of performing such verifications is through the application of Multiple criteria Decision-Making (MCDM) methods.

In general, the MCDM methods consist of approaches capable of classifying, comparing, identifying and selecting solutions to complex problems from a limited number of predetermined alternatives. These techniques are effective in dealing with inaccuracies and uncertainties, as well as conflicting criteria that appear during the decision-making process (TZENG; HUANG, 2011). The application of MCDM methods involves the identification of possible solution and criteria capable of organizing these alternatives according to the expectations of the decision to be made. However, in addition to being qualitative, these elements are usually subject to imprecision, and even to a certain degree of subjectivity, due to the use of value judgments for their formulation. According to Herva and Roca (2013), an increasingly frequent procedure used to mitigate such distortions in opinion polls consists of the Fuzzy Set Theory. Fuzzy systems were first described by Zadeh (1965) as being a set of language and mathematical equivalence rules able of generating accurate representations of the behavior of real world systems.

Once the alternatives and evaluation criteria have been identified, preference ordering methods can be used to select the most appropriate option of the set, taking into account its performance along with the multiple criteria applied for the analysis (KAHRAMAN, 2008). Ordering methods can be classified into two main groups: (i) those based on utility theory, such as the Analytic Hierarchy Process (AHP), Technique of Order Preference by Similarity to an Ideal Solution (TOPSIS), Simple Multi-Attribute Rating Technique (SMART), *VlseKriterijumska Optimizacija I Kompromisno Resenje* (VIKOR); and (ii) Outranking methods, such as Preference Ranking Organization METHods for Enrichment Evaluations (PROMETHEE), Measuring Attractiveness by a Categorical Based Evaluation Technique (MACBETH) and the Elimination Et Choix Traduisant la Réalité (PROMETHEE ELECTRE). MCDM selection and application procedures should be handled with care, since the application domain of each method in terms of problem-solving is conditioned to its design philosophy (CINELLI; COLES; KIRWAN, 2014; PENADÉS-PLÀ et al., 2016).

Taking into account this context, the present study proposes the application of MCDM techniques in the identification of potential improvement actions allowing for decreases in the Brazilian beef export CF. In a broader perspective, which transcends the limits of the market relations described above, the search for better FC indices regarding the Brazilian cattle livestock sector could result in important collective environmental gains. According to Gerber et al. (2013), as emerging economies are dependent on natural resources to maintain their productive chains active, the adoption of efficient management practices for these systems, especially the agriculture and livestock sectors, could reduce global GHG emissions by up to one third.

2. MATERIALS AND METHODS

In conceptual terms, this research was structured applying two approaches: (i) a case study, adopted with the purpose of understanding in detail the behavior of the evaluated phenomenon within its real context; and (ii) data modeling, applied within the perspective described by Yin (2014), to provide an abstraction of all significant and relevant elements, attributes and relationships of a real situation, and represents them by recreating their context. In practical terms, the method applied in this study comprises three steps.

In the first step, the CF associated with the Brazilian beef export was determined. This action, materialized in the form of a case study, began with the Definition of the

Product System Model, comprising the following actions: (i) information gathering from technical literature in order to characterize the beef production chain in Brazil; (ii) identification of producer regions and establishment of medium technological and operational models for animal husbandry and industrial meat processing; (iii) specification of transport modes and network distribution of livestock and meat within the country; and (iv) definition and application of objective criteria for the selection of the most frequent product destinations and, from this, the identification of the means of transport, routes and distances traveled in these processes. The product system model was formulated in accordance with the concept of Life Cycle Thinking, with a 'cradle-to-final destination' scope, which considered all anthropic actions of the productive process, from animal breeding to the delivery of the final product to the main export destinations.

The Brazilian Midwest region was selected to model the livestock breeding and slaughter stages, due to its significant contribution to the country's accumulated production. In 2015 this region accumulated 73 million head of cattle (34% of the country total). Of this total, 40% were concentrated in the state of Mato Grosso (MT), the largest national producer, while the rest was distributed equally between Mato Grosso do Sul (MS) and Goiás (GO) (IBGE, 2016). The Life Cycle Inventory (LCI) was based on the quantification of GHG emissions from the beef production chain. The sum of GHG emissions were adjusted to the functional unit defined for the study, of '1.0 kg of boned exported beef'. To develop the LCI, any multifunctional processes in the product system were treated by allocation procedures. To estimate the product CF, GHG emissions were expressed in terms of contributions to Climate Change through IPCC AR5 coefficients for 100 years of pollutant retention time in the atmosphere (MYHRE et al., 2013). The diagnosis generated in this stage allowed not only to understand the accumulated CF value of the final product for the conditions defined for model structuring, but also to identify impact generation points concerning Climate Change.

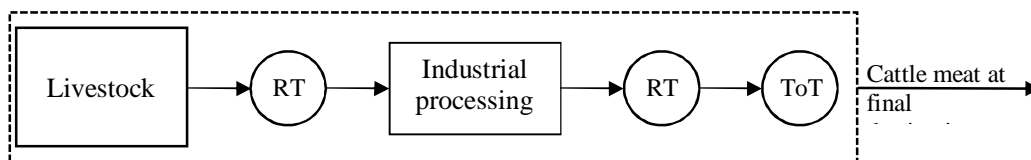
The second step consisting in proposing performance improvement actions and criteria for comparing these solutions. Taking into account the diagnostic results, questionnaires in which technology-based solutions and technically feasible and economically viable practices and production procedures have been elaborated. These documents were then submitted to livestock breeding and meat processing specialists. Regarding the alternative selection criteria, it was agreed that they should meet at least one of the following requirements: (i) exhibit the potential to reduce GHG emissions; or (ii) be able to rank solutions within the proposed universe of possibilities. The

questionnaire result comparison was performed through a MCDM technique comprising a Fuzzy Set Theory, a mathematical method used to approach the imprecisions and uncertainties inherent in human judgments during decision-making processes, which is driven by linguistic terms and degrees of adherence (MAHMOODZADEH et al., 2007; TZENG; HUANG, 2011). In cases of high disparity among alternatives for a certain criterion, has been to rank the potential improvement actions. This procedure was carried by TOPSIS (Technique for Order Preference for Similarity to the Ideal Solution), another MCDC technique.

Finally, in the third step of the method, the normalized and weighted outcomes from the decision-making matrix have been expressed as a SWOT matrix. This procedure was applied with the purpose of facilitating the understanding of the criteria associated to each alternative solution, and thus, better support the discussions originating from those results.

2.1 Life Cycle Modelling

Herein, the production chain of Brazilian beef export was composed of five stages: (i) livestock raising, (ii) cattle transport from the farm to the slaughterhouse, (iii) meat processing, (iv) product transport to the port of origin, and (v) transport to the port of destination (Figure 1). Technical and operational aspects associated with this arrangement are described below, taking into account the average technology practiced in the country for each stage.



Notes: RT – Road transportation; ToT – Transoceanic transportation

Fig. 1. Brazilian meat production chain from 'cradle-to-final destination'

2.1.1 Raising livestock

The meat cattle industry in Brazil comprises a large variety of animal breeding, management forms, and production systems (FLORINDO et al., 2017c; RUVIARO et al., 2015, 2016). In this study, the animal production was modeled from primary data

collected from farms in the southern region of the state of Mato Grosso do Sul. In this way, a farm with 1000 hectares was modeled, being 200 hectares of legal reserve, 20 hectares of improvements and 780 hectares destined to pastures. The reference production system (REF) consists of extensive grazing in *brachiaria brizantha* cv. Marandú and mineral supplementation without addition of protein. Bulls are slaughtered at 42 months with 520 kilos and heifers at 30 months with 300 kilos. After modeling the structure of the stabilized herd, the total GHG emissions of the entire herd were measured and divided by the amount, in kilos of live weight, of animals slaughtered for a period of one year, in both cases. Appendix 1 to 5 present a complete description of the animal production system.

GHG emissions due to enteric fermentation, waste management, pastures, and fertilizer use were calculated by the IPCC Tier 2 approach (EGGLESTON et al., 2008). Environmental burdens associated with livestock externalities (pasture, feed, mineral supplementation, fertilizer use and fossil fuels) were taken into account as full life cycle; i.e., a life-cycle scope that includes natural resource extraction, the manufacture of each good, and their use in the animal rearing process until they reach slaughter conditions. The operations and procedures practiced in rural properties consistently describe the average livestock technology applied in the Brazilian Midwest.

2.1.2 Transport from the farm to the slaughterhouse

The animals are slaughtered in a plant in the city of Naviraí (MS) 45 km distant from the farm. The transport takes place in diesel-powered vehicles (autonomy of 0.31 L/km) with a carrying capacity for 40 live animals. The effects in terms of Climate Change of fuel combustion were estimated by applying an impact factor (IF = 2.48 kg CO₂-Eq./L diesel) obtained from the 2nd National Inventory of Atmospheric Emissions by Road Automotive Vehicles (BRAZIL, 2014).

2.1.3 Meat processing

The animal slaughter and meat processing stages are traditional and well established practices in Brazil; because of that, they could be described through secondary data collected from Pacheco and Yamanaka (2006). Energy expenditures represent the main source of impact at the meat processing stage (WIEDEMANN et al., 2015). Emission

factors and energy conversion values were obtained from baseline reports provided by Rosa et al., (2006). For the modeling effect, it was assumed that the thermal meat processing demand was supplied from charcoal burning in boilers, due to the prevalence of this energy source over others, including those of fossil origin, in industrial processes in central Brazil (WIECHETECK, 2009).

Meat processing is characterized as a multifunctional process. Therefore, in addition to the meat itself, other by-products, such as leather, blood and bone meal, are generated in this stage. In the present case, chose to apply the allocation procedure by economic criterion, in order to distribute the environmental loads accumulated up to this stage of the production chain. This decision was based on the fact that meat exhibits the greatest economic representativeness among the generated co-products. A slaughterhouse manager was consulted in order to determine the marketing value of all the co-products obtained from cattle slaughter. As a result, over 84% of the total impact was attributed to beef.

2.1.4 Transporting from the slaughterhouse to the port

Approximately 50% of the Brazilian beef exported abroad in 2015 left the country from the Santos Port (SP) (ALICE WEB, 2016). Therefore, this location was selected as the trans-oceanic transportation origin for the model. It was also assumed that the distance slaughterhouse-port (1050 km) would be traveled by road in 27.0 t load capacity vehicle. The GHG emissions originate from diesel burning for load refrigeration and vehicle movement. Under these conditions, an average total diesel consumption of 0.36 L/km was estimated.

2.1.5 Transport from the port of origin to the port of destination

The determination of the ports of destination was based on the export profile of Brazilian meat in 2015, established by official data collected from the Alice Web system (ALICE WEB, 2016). The survey indicated three directions: (i) Shanghai (CN), due to the growth of Brazilian exports to China in 2015, and its proximity to Hong Kong; (ii) St. Petersburg (RU), as Russia has been the main export focus for this product in the last five years; and (iii) Rotterdam (NL), the gateway of Brazilian meat to Europe. The distances between ports were estimated by actual data (SEARATES, 2016). The trans-oceanic

transport CF was determined using the emission factor ($EF = 22.0 \text{ g CO}_2/\text{km.t}$) proposed by Webb et al. (2013) to describe the environmental performance of trans-oceanic cargo shipments.

2.2 Procedure for performance improvement actions

The proposed strategy to identify improvement actions for the beef production chain was composed of three actions: (i) questionnaire application to beef production, distribution logistics, and meat processing specialists; (ii) quantification of information obtained through the application of Fuzzy Set Theory and ranking of the most effective alternatives by an MCDM technique; and (iii) the creation of a SWOT matrix, in order to classify the same proposal according to internal and external environments.

As a rule, the beef production chain in Brazil is horizontal; the activities linked to livestock production are controlled by the rural producers, while slaughtering, meat processing and transportation from the farm to the final destination are industrial responsibilities. Due to this structure, the process of identifying potential improvements should involve specialists from different segments of the production chain. Stakeholders were interviewed from each subgroup, i.e. rural producers and industry professionals, through a structured questionnaire, which specified in advance a set of possible alternatives for improvement. This procedure was adopted to allow for the answers to be comparable with each other and with previously established criteria.

The stakeholder selection was conducted from a non-probabilistic sample by accessibility. The use of this approach resulted in contact with two slaughterhouses and their respective transporters, as well as the cattle ranchers who provide cattle for slaughter. The group of respondents who took part in the study was supplemented by specialists from three accessory companies in the field of cattle raising.

A set of eight different alternatives for cattle raising, formulated from the most common herd production systems in Brazil, were presented to rural producers. Conversely, for industrial stakeholders, possible improvement solutions in two areas were suggested: (i) livestock (farm – slaughterhouse), and meat (slaughterhouse – port) transport review; and (ii) technological process updates, especially with regard to the utility provision. The two classes of alternatives for potential CF system improvement are indicated in Table 1.

Table 1. Defining alternatives for performance improvement

Stage	Improvement alternative	Code	
Animal Production	Adoption reference system	AP1	
	Adoption of semi-confined System	AP2	
	Adoption of confined System	AP3	
	Supplementation protein/energy	AP4	
	Fertilization and rotation of pastures	AP5	
	Replacement of pastures by <i>Panicum sp.</i>	AP6	
	Agricultural and livestock integration	AP7	
	Integration of crop-livestock-forest	AP8	
Industry	Transport: farm – slaughterhouse	Fleet update Use of vehicles with a higher load capacity	ITF1 ITF2
	Slaughterhouse	Replacement of boiler with similar equipment with higher thermal efficiency	IF1
		Replacement of refrigeration compressors by may energy efficiency equipment	IF2
		Use of renewable energies	IF3
	Transport: Slaughterhouse - port	Fleet update Use of vehicles with a higher load capacity Adoption of multimodal transport (road and rail)	ITP1 ITP2 ITP3

The criteria selected for the comparison of alternatives are indicated in Table 2. Those referring respectively to ‘Early animal slaughter’ (CA1) and ‘Energy Efficiency’ (CI1) meet the requirements for GHG emission reductions. Conversely, the criteria dealing with ‘Deployment costs’ (CI2) and ‘Availability of financing lines’ (CI4) complies with the principle of alternative ranking.

Table 2. Definition of criteria for comparison of proposed alternatives

Stage	Criteria	Code
Animal Production	Early slaughter of animals	CA1
	Use of non-renewable inputs	CA2
	Grain dependence for food	CA3
	Productivity animal per hectare	CA4
	Deployment constraint analysis	CA5
	Availability of financing lines	CA6
Industry	Energy Efficiency	CI1
	Deployment Cost	CI2
	Deployment constraint analysis	CI3
	Availability of financing lines	CI4

The criterion of ‘Deployment constraints analysis’ had different objectives for the animal production (CA5) and industry (CI3) stages. In the case of CA5, the following restrictions were established: system implementation costs; actual implementation time; the work force involved; and the training and capacity building that would be necessary so the enterprise could operate at high efficiency after the implementation of actions

aiming to reduce CF. In CI3, the cost was not defined as a restriction because a specific criterion for its measurement (CI2) was already established.

In approaching the export beef production chain from this perspective, the questionnaire responses were coded as Fuzzy linguistic variables, like 'higher', 'superior', 'medium', 'lower' and 'much lower', and quantified into triangular and semi-trapezoidal relevance functions (Table 3).

Table 3. Definition of language variables

Language Terms	Scale	Function
Much Lower	(0,0,3)	Semi-trapezoidal
Lower	(0,3,5)	Triangular
Medium	(2,5,8)	Triangular
Superior	(5,7,10)	Triangular
Higher superior	(8,10,10)	Semi-trapezoidal

The Fuzzy system inference process was performed by the Takagi-Sugeno method (TZENG; HUANG, 2011). For variable standardization, all criteria were converted to 'greater/better', due to the existence of 'greater/better' and 'smaller/better' criteria. Thus, the greater the value indicated in the decision-making matrix, the better the criterion evaluation. A decision-making matrix was generated the application of Fuzzy Set Theory.

The oscillation in the scoring of the potential solutions among the evaluated criteria were treated by TOPSIS. Developed by Hwang and Yoon in 1981, this approach consists of a compensatory aggregation method that compares a set of alternatives. In this regard, TOPSIS is applied for score normalization and weighing and estimates of the geometric distance (deviation) between each alternative under analysis and the so-called 'ideal alternative' (MAHMOODZADEH et al., 2007). The better alternative is considered the one that simultaneously records the lowest deviation from the ideal positive alternative and the highest deviation from the ideal negative alternative (ONAT et al., 2016; TZENG; HUANG, 2011).

The ranking of the most effective alternatives was initiated by decision matrix $[A]$, comprising alternatives (i) and criteria (j). Matrix $[A]$ was then normalized, originating matrix $[R]$. The linear normalization of the data was adopted in order to avoid possible outliers. A weighting was performed once this stage was reached. The effects of this procedure were not, however, noted for the case in question, due to the decision to assign unit weights to all criteria. In the next step, the highest possible positive value (A^+) and the lowest possible negative value (A^-) were determined, respectively, for each criterion.

These results were then used to calculate and sum the standard-deviations (minimum: d_i^- and maximum: d_i^+) for each criterion, in relation to A^+ and A^- (Equations 1 and 2):

$$d_i^+ = \sqrt{\sum_{j=1}^m (v_{ij} - v_j^+)^2} \quad \text{Equation 1}$$

$$d_i^- = \sqrt{\sum_{j=1}^m (v_{ij} - v_j^-)^2} \quad \text{Equation 2}$$

The process was finally concluded by estimating the approximation coefficient (C_i^+) of each solution in relation to the ideal and negative alternatives, (Equation 3):

$$C_i^+ = \frac{d_i^-}{(d_i^+ + d_i^-)} \quad \text{Equation 3}$$

The C_i^+ values were ranked in descending order, to provide a broader picture of all alternatives under analysis. The possibility of providing results for each alternative is one of the benefits brought by the TOPSIS method, compared to other MCDM techniques (ONAT et al., 2016).

To facilitate the understanding of the different criteria of each improvement alternative, the decision-making matrix was then described in the form of a SWOT matrix. This approach is one of the most popular analytical methods used in strategic analyses, assessing both strengths and weaknesses in the internal environment and opportunities and threats in the external environment (ŠTĚRBOVÁ et al., 2016). SWOT analyses are frequently used to acquire knowledge regarding a certain situation and subsequently designing strategies for its improvement (NIKOLAOU and EVANGELINOS, 2010).

3. RESULTS

3.1 Carbon footprint (CF)

3.1.1 Raising livestock

The GHG emissions and their impacts in terms of Climate Changes generated by raising livestock are displayed in Table 4. The main emission source at this stage is enteric fermentation, the result of the natural digestion processes in ruminants. Part of the energy from consumed food is lost, resulting in CH_4 emissions (DE VRIES; VAN MIDDELAAR; DE BOER, 2015; FLORINDO et al., 2017c). A discrete contribution

originated from the digestion of manure from pasture decomposition has also been observed. In terms of contributions such as GHG, the process manifests itself as atmospheric CH₄ and N₂O emissions. In addition, N₂O releases due to the addition of nitrogen fertilizers for pasture fertilization are also observed. Finally, CO₂ releases from diesel fuel burning in agricultural machines used to establish pastures are also noteworthy.

Table 4. Contribution by GHG and sources of emission from the livestock stage.

Inputs	Unit	Quantidade	Impact Factor (kg CO ₂ -Eq./kg GEE)
Enteric fermentation	kg CH ₄	0,531	15,141
Manure management (CH ₄)	kg CH ₄	0,004	0,119
Manure management (N ₂ O)	N ₂ O	0,004	0,993
Grass seed	kg	0,008	0,015
Limestone	kg	1,723	0,004
Mineral salt	kg	0,233	0,026
Transport, lorry >32 metric ton	km*ton	1,034	0,096
Transport, lorry 7.5 – 16 metric ton	km*ton	0,070	0,015
Diesel, agricultural machinery	kg	0,037	0,306
Total impact (kg CO ₂ -Eq./produced live weight)			16,715

*IPCC AR5-100 years; Source: Myhre et al. (2013).

Since the animals reach, on average, 520 kg of body mass under slaughter conditions, the obtained results account for a Brazilian livestock CF of 8.691,80 kg CO₂-Eq./ cattle head. About 90% of this total is concentrated in the enteric fermentation process, which is highly influenced by the technological procedures and operational practices exercised during livestock rearing.

3.1.2 Transportation farm – slaughterhouse

Table 5 describes data on transport specifications, GHG emission factors, and impacts associated with this beef production chain stage.

Table 5. Emission factors and specifications for the transport of live animals.

Description of the vehicle	Performance and emission factors		
Vehicle class	Cart	Shipping distance (km)*	90.0
Fuel	diesel	Vehicle range (km/L)**	3.20
Engine power (HP)	310	Total diesel consumption (L)	28.125
Uploaded load (amount)	40	Specific emission of CO ₂ (kg/ L)	2.48
Average weight (kg/cattle)	520	Total emission of CO ₂ (kg)	69.75
Total weight (kg)	20800	Specific emission (g CO ₂ /kg Live load)	3.35

Although the contribution associated with transporting animals to the slaughterhouse (3.35 g CO₂/kg live load) is secondary compared to that calculated for animal production, this result is noteworthy due to the intervention of two variables: (i) the live mass carried during each shift, which influences the estimation of vehicle autonomy; and (ii) the distance that the vehicle must travel (90 km), assuming that the total distance also includes its return to the origin (farm). The option by road transport potentialized the previously underlined effects, since the displacement becomes cattle exclusive. This situation avoids any possibility of reducing GHG emissions from the beef production process by the allocation of environmental loads with other goods.

3.1.3 Meat processing

The slaughterhouse CF in terms of the amounts of electrical and thermal energies consumed in the process is plotted in Table 6. Heat, which represents the main contribution, is derived from charcoal burning in boilers, while electricity is used for lighting and driving machinery and equipment, with the cooling chamber being the main consumer.

Table 6. Impacts specific to slaughtered animals

Description	Energy	Heat	Total
Specific consumption (kwh/head of cattle)	40	160	200
Emission factor (g CO ₂ /kwh)	32.2	395	-
Total emission CO ₂ (kg/ head of cattle)	1.29	63.2	64.5
Total impact (kg CO ₂ -Eq./ head of cattle)	64.5		

Source: Pacheco e Yamanaka (2006)

Heat generation is the main impact source at this beef production chain stage since, in addition to its specific demand exceeding four times that of electricity, the CO₂ emission factor due to charcoal burning is about twelve times higher than that of electricity. Because of this, thermal energy consumption accrues 98% of the total process impacts. Table 7 describes the effect of the multifunctionality treatment process for meat processing and the conversion of live weight into the amount of boned meat. This procedure adjusts the units for the calculated emissions and impacts for each stage to the reference flow established for this study.

Table 7. Treatment of multifunctionality in meat processing by economic allocation.

Steps	Impact ^(*) (kg CO ₂ - Eq./kg)	Economic allocation		Conversion: live weight → boned meat	
		By-products	Cattle meat	Production Yield (%)	Impacts ^(**) (kg CO ₂ -Eq./kg)
		AF ^(**) = 15.6%	AF = 84.4%		
Livestock	1.67E+01	2.61E+0	1.41E+01		3.28+01
Transport	3.35E-03	5.53E-04	2.83E-03	43	6.58E-03
Slaughterhouse	1.24E-01	1.93E-02	1.05E-01		2.43E-01
Total Impacts	1.68E+01	2.63E+00	1.42E+01	-	3.31E+01

Observations: (*): estimated impacts (/kg live weight); (**): estimated impacts (/kg boned meat); AF: Allocation factor

The option by allocation assumes that all accumulated environmental burdens up to the stage where a multifunctional situation is established (and, hence, their resulting impacts) are weighted according to a transparent and justified criterion (ISO, 2006). In this case, the application of this methodological procedure totaled 14.11 kg CO₂-Eq./kg body weight. However, taking into account the operational income of the slaughter carcass (53%) and the conversion of that meat into boned meat (81%), which together make up the overall yield of the meat preparation, the cumulative impact up to this stage reaches 33.1 Kg CO₂ eq/kg boned meat.

3.1.4 Slaughterhouse - Port of Santos

Transportation between the slaughterhouse and the Port of Santos occurs exclusively by road, according to the conditions described in Table 8.

Table 8. Emission specifications and emission factors for boned meat.

Description of the vehicle		Emissions	
Vehicle class	Cart	Vehicle range (km/L)	2.80
Fuel	diesel	Diesel consumption (L):	750
Engine power (HP)	380	Specific emission of CO ₂ (kg/ L)	2.48
Uploaded load	Container 40 feet	Total emission of CO ₂ (kg)	1860
Total weight (kg)	27000	Specific impact (g CO ₂ eq/kg boned meat)	68.9
Shipping distance (km)	2100		

The obtained results indicate that the CF (68.9 g CO₂-Eq./kg boned meat) is even more conditioned by the mode of transportation employed and the traveled distance (2100 km) than that for the farm– slaughterhouse displacement.

3.1.5 Transport: Port of Santos - port of destination

Table 9 describes the traveled distances and the associated impacts of each trans-oceanic displacement. As expected, these mobilities represent the main impact sources among the transports that occur throughout the product system, mainly due to the distances between the cargo point of origin and final destination.

Table 9. Ports of destination, distance traveled from the Port of Santos (BR) and impacts associated with each transoceanic transport

Port of destination	Distances (km)	Impacts (g CO ₂ -Eq. /kg boned meat)
Rotterdam (NL)	10491	226
Shanghai (CN)	21442	461
St. Petersburg (RU)	12415	267

Observation: Considering the emission factor EF = 22.0 g/(km.t) (Webb et al, 2013).

By expressing the CO₂ emissions for all these displacements, it was observed that trans-oceanic mobility registers the best specific emission index of the whole series. The value obtained from Webb et al. (2013) and applied for this estimate is lower than those calculated for slaughterhouse–port (32.8 g CO₂/(km.t) and farm-slaughterhouse (38.0 g CO₂/(km.t) transports. Although the autonomy of the truck used to transport live cargo (3.20 km/L) seems to be higher than that achieved by the truck that distributes boneless meat (2.80 km/L), the latter result was obtained for 27.0 t of cargo, while the former was calculated for 20.4 t.

3.1.6 Carbon Footprint (CF) for exported Brazilian beef

Table 10 display the individual CF results for each production chain stage and the calculated totals for exported Brazilian beef. The performance of the product delivered to Shanghai (CN) is slightly more aggressive than those for meat distributions to Rotterdam (NL) and St. Petersburg (UK), which are equivalent.

Table 10. Carbon Footprint of Brazilian beef exports characterized by final destination

Supply chain	Carbon Footprint (g CO ₂ -Eq./kg boned meat)		
	Rotterdam (NL)	Shanghai (CN)	St. Petersburg (RU)
Livestock	32807	32807	32807
Slaughterhouse	243	243	243
Transport			
Farm – Slaughterhouse	6.58	6.58	6.58
Slaughterhouse – Porto of Santos	68.9	68.9	68.9
Santos – Rotterdam	226		
Santos – Shanghai		461	
Santos – St. Petersburg			267
Total	33351	33589	33392

The variability between the totals is exclusively due to the contributions provided by trans-oceanic transports, whose participation is discrete (0.7 – 1.4%) in terms of accumulated values. The meat processing contribution was stable and not expressive (~1.4%). Animal production continues to show significant CF participation rates (> 98%), despite the final destination of the product, becoming, therefore, the main focus for improvement actions proposals.

3.2 Actions for potential improvement of the performance of analysis

3.2.1 The Fuzzy system

As described in section 2.2, the productive arrangement under analysis was divided between 'animal production' and 'industry' groups. The processes that constitute animal production are interdependent, making it difficult to evaluate an isolated strategy for improvement (e.g. the substitution of a mineral supplement in livestock diet).

As a result, the main systems used to produce meat cattle in the country were compared as potential improvement alternatives for animal production. Table 11 presents the decision-making matrix elaborated after the application of the Fuzzy system inference process regarding farmer opinions in response to the structured questionnaires.

Regarding the animal production stage, a significant variation in all evaluated criteria was observed, due to the different beef production system characteristics presented for specialist appreciation. The activities that integrate the industrial stage of the production chain, however, are not interdependent. This allowed for a verification of the specific effects of each proposed strategy. In the industrial phase, two criteria (CI1 and CI4)

presented less amplitude in the results, and, thus, CI2 and CI3 were more representative in the decision-making process (Table 12).

Table 11. Decision matrix of the animal production phase after application of the Fuzzy inference systems process

Alternatives	Criteria					
	CA1	CA2	CA3	CA4	CA5	CA6
AP1	3.85	8.75	10.0	3.45	8.75	5.35
AP2	8.00	6.25	5.25	7.75	5.25	5.35
AP3	9.00	3.45	2.15	9.75	2.15	5.85
AP4	7.25	7.75	6.25	5.75	9.00	4.35
AP5	5.75	4.75	9.75	6.25	9.00	5.25
AP6	5.25	4.85	9.75	4.75	5.75	6.75
AP7	8.75	3.85	9.00	8.25	3.95	7.75
AP8	5.85	3.85	9.00	5.75	3.45	8.25

Table 12. Industry decision matrix after Fuzzy inference systems

Alternatives	Criteria			
	CI1	CI2	CI3	CI4
ITF1	7.71	8.96	9.17	8.33
ITF2	6.67	7.50	4.25	8.54
IF1	7.08	2.75	2.42	8.75
IF2	7.50	3.58	4.67	8.75
IF3	9.58	2.42	2.75	7.92
ITP1	7.71	8.13	8.96	8.96
ITP2	6.67	5.42	4.25	8.96
ITP3	9.17	3.17	2.42	8.13

3.2.2 TOPSIS

In view of the significant score variations between the criteria presented by the alternatives, the TOPSIS method was applied for ranking. This was conducted from the d_i^- , d_i^+ and C_i^+ from each alternative (Table 13), measured in relation to the ideal alternative obtained for each criterion.

Regarding the animal production stage, the AP4 (protein-energetic supplementation), AP5 (fertilization and pasture rotation) and AP7 (crop-livestock integration) performances are worth mentioning, since they displayed the highest approximation coefficient values among the alternatives. These results contrast with those for AP3, whose high scoring amplitudes resulted in the lowest C_i^+ of the whole solution series. While the prevalence of AP4 and AP5 was due to equilibrium, in order to obtain intermediate values for all decision-making matrix criteria, AP7 was qualified as a

promising solution due to the highest d_i^- and, at the same time, one of the lowest d_i^+ values. This is important, as the improvement action proposals for AP7 carried out under CA2 and CA5 criteria may impose a decrease of their proximity coefficient and, therefore, improve their position in the general planning.

Table 13. Values of minimum deviations (d_i^-) and maximum (d_i^+) and coefficient of proximity (C_i^+) for each solution.

Stage	Alternatives	d_i^-	d_i^+	C_i^+
Animal Production	AP1	1.689	0.932	0.644
	AP2	1.482	0.812	0.646
	AP3	1.453	1.283	0.531
	AP4	1.620	0.764	0.680
	AP5	1.626	0.775	0.677
	AP6	1.470	0.894	0.622
	AP7	1.701	0.816	0.675
	AP8	1.479	0.997	0.597
Industry	ITF1	1.675	0.208	0.889
	ITF2	1.326	0.640	0.674
	IF1	1.116	1.044	0.516
	IF2	1.221	0.805	0.602
	IF3	1.222	1.018	0.545
	ITP1	1.651	0.218	0.883
	ITP2	1.245	0.732	0.629
	ITP3	1.215	0.985	0.552

In the industrial stage, C_i^+ amplitude was influenced by the scores that improvement solutions reached applying the CI2 and CI3 criteria. Thus, ITF1 (update of the fleet of live animal transport vehicles) and ITP1 (update of the meat transport fleet processed up to the Port of Santos), whose C_i^+ values totaled 0.889 and 0.883, respectively, are presented as the best proposals in this situation. In addition to greater efficiency in the use of fossil fuels, cases of few restrictions for implementation and good availability of financing lines are also possible. The remaining six solutions scored significantly lower, while IF2 (replacement of refrigeration compressors) was the best alternative for the slaughterhouse.

4. DISCUSSION

4.1 Carbon Footprint of Exported Brazilian beef

Wiedemann et al. (2015) avaliaram a pegada de carbono para as exportações de carne bovina da Austrália para os Estados Unidos, com valores variando entre 16.1 a 27.2 kg de CO₂-Eq. por quilo bonee meat, com a fase de produção animal representando aproximadamente 93% dos impactos. Comparando com os resultados obtidos nesse estudo, os resultados inferiores podem ser justificados pela adoção de diferentes métodos de atribuição de impacto, uma vez que a adoção do AR5 possui um fator de caracterização 14% maior sobre o AR4 e pela alimentação mais intensiva em confinamento.

Both results agree with the observations reported by Gerber et al. (2013), that livestock farming accounts for 94% of the impacts of meat production worldwide. The stratification of these totals indicates, however, a divergence between the general result and that calculated for the Brazilian product. In global average terms, about 48% of the impacts associated with animal production originate from food manufacturing (pasture and supplements), while 10% comes from waste treatment and no more than 42% originates from enteric fermentation. In the case of Brazilian meat, enteric fermentation is dominant, accounting for 91% of the Climate Change impacts that occur in raising livestock (Table 4). Management manure is the next on the list, participating with 6.6%, while food production provides the lowest contribution, composed almost entirely of CO₂ from diesel burning. The production system that currently prevails in Brazil, of the extensive type, with feeding based mainly on pastures and, therefore, with little need of external nutrition supplementation and animal maintenance, was indicated by Mazzetto et al. (2015) as the main cause for this heterogeneity.

Capper (2012) and De Oliveira Silva et al. (2016) state that the prioritization of intensive cattle production strategies aimed at increasing feed conversion efficiency may attenuate enteric CH₄ emissions. De Vries; Van Middelaar and de Boer, 2015; FLORINDO et al., 2017c) and Veysset et al. (2014) agree with this point of view, but warn that the procedure applied to decrease enteric CH₄ emissions should be extended to the life-cycle impacts of raw materials and inputs that integrate the alternatives under analysis.

Within the scope of animal production, it is also necessary to take into account pasture carbon capture potential to mitigate Climate Change impacts. Bustamante et al.

(2006) observed that the average carbon sequestration potential of the air in well-managed pastures in the Cerrado Biome is of 1.30 t CO₂/year, reaching up to 3.00 t/year in some regions. Following the same approach, Maia et al. (2009) observed that carbon fixation ranges between 610 and 720 kg CO₂/year in non-degraded pastures from the Brazilian states of Mato Grosso (MT) and Rondônia (RO).

As the annual slaughter of the system is 116,5 kg live weight per hectare (Appendix 3), in view of the minimum and maximum carbon sequestration values described above, and a grazing period of three years, the area occupied by each cattle head was estimated as absorbing from 5.23 to 25.75 kg CO₂ per kg bonnet meat.

If, according to the IPCC, the CO₂ impact factor for CC is IF = 1.00 kg CO₂-Eq./kg of emitted substance (EGGLESTON et al., 2008), and admitting carbon absorption from the air as a 'negative contribution' to the impact, the consideration of this portion in the determination of the environmental performance of the Brazilian meat production would result in significant changes in the data. For this reasoning to be extended to the rest of the country, it's important to understand carbon dynamics in pasture soils in greater detail, as well as the carbon sequestration potential of these areas in other Brazilian regions (DE OLIVEIRA SILVA et al., 2016).

Finally, with regard to transportation, the impacts generated by the system arise from diesel burning CO₂ emissions. Trans-oceanic mobility exhibits the lowest specific emissions (21 mg/km), followed by road transport from the slaughterhouse to the Port of Santos (35 mg/km) and from the farm to the slaughterhouse (78 mg/km). These results indicate an approximate four-fold variation between the most extreme performances, and more than two-fold between land displacements.

Although the greatest CO₂ emission source, no alternatives that allow for potential improvements in live animal transport performance from the farm to the slaughterhouses are available. Regarding the journey between the slaughterhouses and Port of Santos, the option for intermodal transport (road vs. waterway) would provide significant decreases in the CO₂ emissions.

4.2 SWOT matrix

Figure 2 describes the product of the result conversion process of the decision-making matrix into the SWOT matrix.

		Animal production				Industry			
		Strenghts		Weaknesses		Strenghts		Weaknesses	
		Alternatives	Criteria	Alternative	Criteria	Alternative	Criteria	Alternative	Criteria
Internal		AP1, AP4	CA2	AP1	CA1	IF3, ITP3	CI1	IF1, IF2, IF3, ITP3	CI2
		AP2, AP3, AP7	CA1	AP1	CA4	ITF1, ITP1	CI2		
		AP2, AP3, AP7	CA4	AP3, AP7, AP8	CA2				
External		AP1, AP5, AP6, AP7, AP8	CA3	AP3	CA3	ITF1, ITF2, IF1, IF2, ITP1, ITP2, ITP3	CI4	IF1, IF3, ITP3	CI3
		AP1, AP4, AP5	CA5	AP3, AP7, AP8	CA5	ITF1, ITP1	CI3		
		AP7, AP8	CA6						

Fig. 2. SWOT matrix applied to: (a) stage of animal production; And (b) the industry stage of the beef production chain.

An analysis based on internal animal production criteria (Table 11 and Fig. 2) suggests that alternatives AP5 and AP8 did not have the expected effect on the process and, therefore, were not classified as either positive or negative. This reasoning is supported by the intermediate scores obtained by both proposals. AP2 (semi-confined system), AP3 (confined system) and AP7 (crop-livestock integration) appear as strengths for the CA1 and CA4 criteria. However, the same parameters, in contrast, expose AP1 (reference system) weaknesses. AP3 exhibited the highest response amplitude among the criteria, obtaining high scores in CA1 (9.00) and CA4 (9.75), but a minimum score in CA2 (3.45). Favorable attributes of the confined system include early animal slaughter and high production rate per hectare. Conversely, this technique establishes a high degree of dependence on non-renewable resources (fossil fuels) and electricity.

Most alternatives presented strengths when the production systems were observed externally, with two exceptions: AP2, which did not even relate to intermediate values in the external criteria; and AP3, whose unfavorable evaluations for CA3 and CA5 became the alternative with the greatest degree regarding implementation threat among the evaluated possibilities. In comparison to other systems, confinement demands high economic investments, lengthy consolidation periods, human resource training, and the use of machinery, besides being quite dependent on grains for food.

The analysis of the industrial stage for the internal criterion of energy efficiency (CI1) demonstrated that all proposed alternatives (IF1, IF2 and IF3) provided gains in relation to the original arrangement verified in this study. In this context, the use of renewable energies, which obtained a maximum CI1 score (9.58), is noteworthy. The proposals for replacing used vehicles for live animal transport and meat cooled by vehicles with higher carrying capacity (ITF2 and ITP2) achieved the lowest scores for the same criterion (6.67). The justification for both phenomena is based on the inverse correlation established between autonomy and diesel vehicle storage capacity. In terms of implementation costs (CI2), alternatives ITF1, ITF2 and ITP1 achieved favorable results, with ITF1 and ITP1 being listed as internal strengths for this criterion. When explored under the same perspective, the other proposals reached lower scores (between 2.42 and 5.42), and are, therefore highly vulnerable in terms of potential implementation.

Regarding external criteria, all alternatives presented high scores in terms of the availability of financing lines (CI4), and were therefore classified as strengths, since. The industrial stage can rely on expressive financial contributions from banks, as improvement proposals are characterized as technological innovations.

IF1, IF2 and IF3 (in the slaughterhouse) and ITP3 (for multimodal transport) accumulated low scores in the criterion of restrictions regarding implementation (CI3). For the slaughterhouse, this is due to the need for temporary shutdown for improvement action implementations. In the case of multimodal transport, the discrete performance in CI3 is due to the obligation to adapt the transshipments to move refrigerated containers from the trucks to the freight trains.

The results achieved by the analysis demonstrate that the use of protein-energetic animal supplementation during livestock raising, or even pasture rotation fertilization are options displaying few implementation restrictions, but can lead to significant decreases in animal production. In the industrial stage, the replacement of transport vehicles

provides positive results in terms of Climate Change precursor generation, with few execution limitations.

5. CONCLUSIONS AND RECOMMENDATIONS

This study presented a proposal for the joint application of MCDM techniques (Fuzzy Set Theory and TOPSIS) and Carbon Footprint to hierarchize possible improvement actions to be implemented in the Brazilian beef export process. These actions, which aim at reducing impacts in the form of Climate Changes, are based on evaluation criteria formulated from the identification of the impact profile associated with beef.

The results indicate that the animal production stage exhibits contributions that exceed 98% of the total GHG emissions of the system, regardless of the export destination. Regarding precursors, the CH₄ emissions generated due to animal enteric fermentation are significant. In the industrial stage, electricity use and transport activities appeared as the most important to be reevaluated in terms of GHG generation. The diversity of final destinations (Shanghai: CN; St. Petersburg: RU; and Rotterdam: NL) led to discrete variations (0.7 – 1.37%) in cumulative impacts, due to the inclusiveness of the trans-oceanic transport in comparison with internal displacements in the country, which were common for all the distribution routes.

During livestock raising, protein-energy supplementation systems, pasture rotation fertilization and crop-livestock integration appeared as potential potent alternatives for the reduction of GHG emissions. However, it is important to point out that, among the systems mentioned above, crop-livestock farming integration presented the highest scoring range of the evaluated criteria, being noteworthy as a promising alternative, also due to the existing potential for increased efficiency.

In the industrial stage, the need to pause activities to install more energy efficient equipment is a barrier to the adoption of improvement actions. Thus, the proposed solutions for this stage of the production chain were restricted to land transports. In this sense, the replacement of the fleets for live and refrigerated cargo displacement was presented as the best potential alternative to reduce GHG emissions.

A prospective analysis carried out with secondary data concluded that an adequate pasture management could reduce Climate Changes impacts associated with the beef production due to carbon sequestration from 5.23 to (-) 25.75 CO₂-Eq. /kg boned meat. Therefore, a natural follow-up of this initiative would be a rigorous verification of the

CO₂ absorption capacity of this raw material, which allows for the understanding of these dynamics in the different Brazilian grazing regions.

Beef is one of the main sources of animal protein in human diets. In addition, the beef production chain is consolidated in many countries, and is, therefore, an important source for the economic and social sustainability of those regions. In contrast, the product displays very high levels of Carbon Footprint. This controversial framework makes it necessary to implement actions that improve the environmental performance of this arrangement, to balance it with the other dimensions. Such advances will only be possible with synergic actions in two ways: academic research regarding the interface established between the productive process and its effects on the environment, and process management, also exercised by taking into account environmental variables.

6. References

ALICE WEB. **Sistema de Análise das Informações de Comércio Exterior**. 2016.

Available in: <<http://aliceweb.mdic.gov.br/>>. Accessed: 20 may 2017. (*in Portuguese*)

BUSTAMANTE, M.M.C. et al. Soil carbon storage and sequestration potential in the cerrado region of Brazil, in: **Carbon Sequestration in Soils of Latin America**. Ed. Lal, R., Cerri, C.C., Bernoux, M., Etchevers, J. (Eds. Haworth Press, Binghamton. pp. 285–304.

CAPPER, J. L. Is the Grass Always Greener? Comparing the Environmental Impact of Conventional, Natural and Grass-Fed Beef Production Systems. **Animals**, Basel, v. 2, n.2, p.127-143, apr. 2012.

CINELLI, M.; COLES, S. R.; KIRWAN, K. Analysis of the potentials of multi criteria decision analysis methods to conduct sustainability assessment. **Ecological Indicators**, [Germany], v. 46, n. Supplement C, p. 138–148, 2014. Available at:

<<http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S1470160X14002647>> Accessed on: 12 jan. 2017.

DE OLIVEIRA SILVA, R. et al. Increasing beef production could lower greenhouse gas emissions in Brazil if decoupled from deforestation. **Nature Climate Change**, London, v. 6, n. 5, p. 493–497, 2016. Available at:

<<http://www.nature.com/doi/10.1038/nclimate2916>>. Accessed on: 19 dez. 2017.

DE VRIES, M.; VAN MIDDELAAR, C. E.; DE BOER, I. J. M. Comparing environmental impacts of beef production systems: A review of life cycle assessments. **Livestock Science**, Amsterdam, v. 178, n. Supplement C, p. 279–288, 2015. Available at: <<http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S187114131500308X>> Accessed on: 18 mar. 2018.

DICK, M.; DA SILVA, M. A.; DEWES, H. Life cycle assessment of beef cattle production in two typical grassland systems of southern Brazil. **Journal of Cleaner Production**, [Amsterdam], v. 96, n. Supplement C, p. 426–434, 2015. Available at: <<http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0959652614001061>> Accessed on: 10 jan. 2017.

EGGLESTON, H. S. et al. (Ed.). **IPCC guidelines for national greenhouse gas inventories**. Hayama, Japan: Institute for Global Environmental Strategies, 2008.

FLORINDO, T. J. et al. Carbon footprint and Life Cycle Costing of beef cattle in the Brazilian midwest. **Journal of Cleaner Production**, [Amsterdam], v. 147, n. Supplement C, p. 119–129, 2017. Available at: <<http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0959652617300288>> Accessed on: 15 mar. 2017.

GERBER, P. J. et al. **Tackling climate change through livestock: a global assessment of emissions and mitigation opportunities**. Rome: Food and Agriculture Organization of the United Nations (FAO), 2013.

HERVA, M.; ROCA, E. Review of combined approaches and multi-criteria analysis for corporate environmental evaluation. **Journal of Cleaner Production**, [Amsterdam], v. 39, n. Supplement C, p. 355–371, 2013. Available at: <<http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0959652612004040>> Accessed on: 10 jan. 2017.

IBGE - INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA. **Municípios: pecuária**. 2016. Available at: <<https://cidades.ibge.gov.br/brasil/ms/navirai/pesquisa/18/16459>>. Accessed on: 18 nov. 2017.

ISO. **ISO 14040: Environmental Management-Life Cycle Assessment-Principles and Framework**. Geneva: International Standard Organization, 1998.

KAHRAMAN, C. **Fuzzy multi-criteria decision making: theory and applications with recent developments**. Boston: Springer Science & Business Media, 2008.

MAHMOODZADEH, S. et al. Project selection by using fuzzy AHP and TOPSIS technique. **International Journal of Human and social sciences**, Paris, v. 1, n. 3, p. 135–140, 2007.

MAZZETTO, A. M. et al. Improved pasture and herd management to reduce greenhouse gas emissions from a Brazilian beef production system. **Livestock Science**, Amsterdam, v. 175, n. Supplement C, p. 101–112, 2015. Available at: <<http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S187114131500102X>> Accessed on: 16 dez. 2016.

BRASIL. Ministério do Meio Ambiente. **2º Inventário nacionalde emissões atmosféricas por veículos automotores rodoviários 2013: ano base 2012: relatório final**. 2014. Available at: <http://portal.antt.gov.br/index.php/content/view/32492/2__Inventario_Nacional_de_Emissoes_Atmosfericas_por_Veiculos_Automotores_Rodoviaros.html>. Accessed on: 20 mar. 2017. (*in Portuguese*)

MYHRE, G. et al. Anthropogenic and natural radiative forcing. In: STOCKER, T.F. et al. (Ed.). **Climate change 2013: the physical science basis. Contribution of working group i to the fifth assessment report of the intergovernmental panel on climate change**. Cambridge: Cambridge University Press, 2013. p. 658–740.

NIKOLAOU, I. E.; EVANGELINOS, K. I. A SWOT analysis of environmental management practices in Greek Mining and Mineral Industry. **Resources Policy**, Guildford, v. 35, n. 3, p. 226–234, 2010. Available at: <<http://linkinghub.elsevier.com/retrieve/pii/S0301420710000061>>. Accessed on: 19 dez. 2017.

ONAT, N. C. et al. Application of the TOPSIS and intuitionistic fuzzy set approaches for ranking the life cycle sustainability performance of alternative vehicle technologies. **Sustainable Production and Consumption**, [Amsterdam], v. 6, n. Supplement C, p.

12–25, 2016. Available at:

<<http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S2352550915000469>> Accessed on: 10 jan. 2017.

PACHECO, J. W.; YAMANAKA, H. T. **Guia técnico ambiental de abates (bovino e suíno)**. São Paulo: CETESB, 2006. (*in Portuguese*)

PENADÉS-PLÀ, V. et al. A Review of Multi-Criteria Decision-Making Methods Applied to the Sustainable Bridge Design. **Sustainability**, Basel, v. 8, n. 12, 2016.

ROSA, L. P. et al. Primeiro inventário brasileiro de emissões antrópicas de gases de efeito estufa: relatório de referência: emissões de dióxido de carbono por queima de combustíveis: abordagem top-down. Brasília: MCT, 2006. (**available at <http://www.forumclimabr.org.br/inventario.htm>**), [s. l.], 2002. Accessed on: 20 mar. 2017(*in Portuguese*).

RUVIARO, C. F. et al. Economic and environmental feasibility of beef production in different feed management systems in the Pampa biome, southern Brazil. **Ecological Indicators**, [Germany], v. 60, n. Supplement C, p. 930–939, 2016. Available at: <<http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S1470160X15004744>> Accessed on: 10 feb. 2017.

RUVIARO, C. F. et al. Carbon footprint in different beef production systems on a southern Brazilian farm: a case study. **Journal of Cleaner Production**, [Amsterdam], v. 96, n. Supplement C, p. 435–443, 2015. Available at: <<http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S095965261400050X>> Accessed on: 10 de feb. 2017.

SEARATES. **Distance and Time [map]**. Scale undetermined; generated by SeaRates LP. 2016. Available at: <http://www.searates.com/reference/portdistance> (accessed on 22 May 2017).

STEINFELD, H. et al. **Livestock's long shadow: environmental issues and options**. Rome : FAO, 2006.

ŠTĚRBOVÁ, M. et al. Innovation Strategy in Slovak Forest Contractor Firms—A SWOT Analysis. **Forests**, Basel, v. 7, n. 6, art.118, 2016.

TZENG, G.-H.; HUANG, J.-J. **Multiple attribute decision making: methods and applications**. Boca Raton : CRC press, 2011.

USDA. **Statistics & Information**. 2016. Available at:

<<https://www.ers.usda.gov/topics/animal-products/cattle-beef/statistics-information.aspx>>. Accessed on: 1 jul. 2017.

VEYSSET, P. et al. Variability in greenhouse gas emissions, fossil energy consumption and farm economics in suckler beef production in 59 French farms. **Agriculture, Ecosystems & Environment**, Amsterdam, v. 188, n. Supplement C, p. 180–191, 2014. Available at: <<http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0167880914001133>> Accessed on: 10 feb. 2017.

WEBB, J. et al. Do foods imported into the UK have a greater environmental impact than the same foods produced within the UK? **The International Journal of Life Cycle Assessment**, Landsberg , v. 18, n. 7, p. 1325–1343, 2013. Available at: <<https://doi.org/10.1007/s11367-013-0576-2>> Accessed on: 15 mar. 2017.

WIECHETECK, M. Aproveitamento de resíduos e subprodutos florestais, alternativas tecnológicas e propostas de políticas ao uso de resíduos florestais para fins energéticos. **Projeto PNUD BRA 00/20-Apoio às Políticas Públicas na Área de Gestão e Controle Ambiental**, [s. l.], 2009. (*in Portuguese*)

WIEDEMANN, S. et al. Environmental impacts and resource use of Australian beef and lamb exported to the USA determined using life cycle assessment. **Journal of Cleaner Production**, [Amsterdam], v. 94, p. 67–75, 2015. b. Available at: <<https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0959652615000773>>. Accessed on: 22 mar. 2018.

Yin, R.K. **Case study research: Design and methods**, 5th Ed. Sage publications, ISBN 978-1-4833-0200-3. 2014. Thousand Oaks. 282p.

ZADEH, L. A. Fuzzy sets. **Information and control**, New York, v. 8, n. 3, p. 338–353, 1965.

CAPÍTULO V

PONDERAÇÃO PROBABILÍSTICA E ANÁLISE DE RISCO APLICADOS À TOMADA DE DECISÃO MULTICRITÉRIO PARA AVALIAÇÃO DA SUSTENTABILIDADE DE SISTEMAS DE PRODUÇÃO DE CARNE BOVINA

Resumo

Aspectos ambientais, econômicos e sociais da fase de produção animal da cadeia de carne bovina tem sido o foco de pesquisas individualmente, mas nunca avaliados de uma forma integrada para a pecuária brasileira. Desta forma, o objetivo desse estudo foi desenvolver uma abordagem utilizando a Avaliação Sustentável do Ciclo de Vida integrada a métodos multicritérios de tomada de decisão e ponderação probabilística, a fim de avaliar a sustentabilidade de quatro diferentes alternativas de produção animal na região sul do estado de Mato Grosso do Sul, Brasil. Considerando a avaliação integrada em uma única pontuação, o sistema com rotação lavoura-pecuária (RLP) obteve melhor desempenho, proporcionado pela redução de custos de mecanização para plantio e maior capacidade de suporte animal por hectare, sem a necessidade de utilização direta de fertilizantes fosfatados e nitrogenados. No entanto, avaliando os critérios individualmente, o sistema com fertilização das pastagens (SPF) obteve o melhor desempenho para os indicadores sociais, devido a maior geração de postos de trabalho e remuneração dos trabalhadores. A utilização da ponderação probabilística em conjunto com o método multicritério VIKOR demonstrou-se uma solução eficiente para isentar o julgamento humano sobre os pesos dos critérios, reduzindo a incerteza da avaliação e possibilitando, ainda, uma análise de risco considerando todas as combinações possíveis de pesos de forma integrada e individual por critério. No entanto, pesquisas relacionadas ao desenvolvimento de novos indicadores relacionados ao sistema, principalmente em critérios não avaliados como biodiversidade, serviços ecossistêmicos e bem-estar animal, são necessários para ampliação da avaliação da sustentabilidade do sistema.

Palavras-chave: gestão do ciclo de vida; teoria dos conjuntos *fuzzy*; sócio-ecoeficiência; pegada de carbono; pecuária de baixo carbono.

1. INTRODUÇÃO

Por muito tempo as pesquisas relacionadas à agricultura concentraram-se principalmente na identificação de medidas para ganhos de produtividade, tanto por área ou por meio de expansão em novas fronteiras agrícolas, como o cerrado brasileiro. No entanto, diversos fatores contribuíram para alterar este foco: o aumento da renda da população e a conseqüente demanda adicional por produtos de origem animal (GERBER et al., 2013); a competição sobre o uso da terra, de recursos naturais e os impactos para o meio ambiente (GERBER et al., 2013; STEINFELD et al., 2006); bem como os consumidores mais conscientes que passaram a exigir produtos agrícolas de baixo impacto ou mais sustentáveis (DE LUCA et al., 2018). Por conta deste contexto, a

produção sustentável de alimentos de origem animal tornou-se uma prioridade da agenda política global (PASHAEI KAMALI et al., 2016).

No ano de 2017, o Brasil foi o segundo maior produtor mundial de carne bovina, atingindo uma produção de 9,45 milhões de toneladas e exportando 18,60% de sua produção (USDA, 2017). Dessa forma, avaliando as exportações brasileiras, os impactos associados à carne bovina estão distribuídos por toda a cadeia, desde a produção animal, processamento e transporte para os países importadores. Neste sentido, dados de uma recente pesquisa avaliando a pegada de carbono, apontaram que a fase de produção animal responde por mais de 90% dos impactos ambientais de toda a cadeia das exportações de carne bovina do estado de Mato Grosso do Sul, representando o principal ponto crítico para adoção de melhorias que visem a redução dos impactos (dados do autor).

A fim de elevar a produção de carne bovina baseada na redução de tributos incidentes sobre a bovinocultura de corte, o governo do estado de Mato Grosso do Sul lançou em 2016 o programa Terra Boa, com o objetivo de promover a recuperação e manutenção da capacidade produtiva de dois milhões de hectares de pastagens degradadas em cinco anos (MATO GROSSO DO SUL, 2016). Neste sentido, a intensificação da produção - por meio de práticas que melhorem a qualidade e a quantidade de forragem, a adoção de confinamento e suplementação estratégica - é apontada como a principal estratégia para redução dos impactos associados ao produto (FLORINDO et al., 2017a).

No entanto, para avaliar os impactos tanto positivos como negativos, se faz necessário a utilização de um método capaz mensurá-los. A Avaliação do Ciclo de Vida (ACV) se consolidou como a principal metodologia para avaliação de impactos de produtos agrícolas (DE LUCA et al., 2017). Contudo, a maioria dos estudos comparando sistemas específicos de produção de carne bovina concentra-se no uso da avaliação do aspecto ambiental (BRAGAGLIO et al., 2018; FLORINDO et al., 2017b; WILLERS et al., 2017; RUVIARO et al., 2015) e ambiental e econômico, em conjunto (FLORINDO et al., 2017a; PASHAEI KAMALI et al., 2016; RUVIARO et al., 2016). Entretanto, a fim de avaliar a sustentabilidade em seu sentido mais amplo, a eficiência de diferentes alternativas de produção deve ser comparada considerando os três pilares: ambiental, econômico e social.

A Avaliação da Sustentabilidade do Ciclo de Vida (ASCV) permite essa avaliação tríplice. A ASCV foi concebida como uma abordagem transdisciplinar

quantitativa (GLORIA et al., 2017), integrativa e holística, capaz de lidar com estes diferentes problemas (DE LUCA et al., 2018). Ainda assim, na ASCV são esperadas situações complexas de tomada de decisão, em decorrência do uso de indicadores conflitantes (GUINÉE et al., 2011), diferentes categorias de avaliação (REN; TONIOLO, 2018) ou de diferentes tipos de indicadores e unidades (KALBAR et al., 2017). Estas singularidades, aliadas ao fato de a metodologia ser relativamente nova, contribuem para que ainda não exista uma estrutura padronizada para aplicação da ASCV (CHEN; HOLDEN, 2018).

Em contrapartida, métodos multicritérios de tomada de decisão (MCDM - *Multicriteria Decision Making*) têm sido amplamente utilizados em conjunto com o pensamento do ciclo de vida. Ren et al. (2015) utilizaram os métodos MCDM VIKOR e lógica fuzzy aplicados sobre o ciclo de vida para avaliação da sustentabilidade de biocombustíveis na China. De forma similar, Rostamzadeh et al. (2015) também utilizaram os métodos VIKOR e lógica *fuzzy* para avaliação de indicadores de uma cadeia de suprimentos na Malásia. Esta integração é oportuna pela capacidade de lidar com estes problemas de forma flexível, permitindo o uso simultâneo de abordagens qualitativas e quantitativas, além de uma visão holística na tomada de decisões (FALCONE et al., 2016; CINELLI; COLES; KIRWAN, 2014).

Em uma recente revisão de literatura, De Luca et al. (2017) relataram que métodos MCDM têm sido aplicados em estudos de ACV para seleção de cenários, categorias de impacto, atribuição de pesos para critérios e classificação de alternativas, mas que, por outro lado, esta combinação também refletiu em mais incertezas e risco nos resultados. Diferenciando incertezas e risco, risco consiste em eventos associados com uma dada probabilidade de ocorrência, enquanto que incerteza está associada a eventos onde uma avaliação probabilística não é possível (ALESSANDRI et al., 2004). Por essa razão, a utilização de métodos para avaliação de incerteza em ASCV é um desafio que necessariamente deverá ser enfrentado para lidar com a influência das preferências dos decisores no processo de tomada de decisão (GRUBERT, 2017).

Na ASCV a ponderação consiste em uma etapa para distribuição da relevância de cada critério em uma classificação final, podendo representar um grande impacto nos resultados finais (MYLLYVIITA; LESKINEN; SEPPÄLÄ, 2014), já que pode ser influenciado por diferentes ideologias e pontos de vista dos decisores (REN; TONIOLO, 2018). Neste sentido, pesquisadores apontam a necessidade de desenvolvimento de um método de ponderação apropriado para aspectos ambientais, econômicos e sociais

(CHEN; HOLDEN, 2018), que permitam a obtenção de um índice único, apoiando uma decisão mais racional por parte dos usuários (REN; TONIOLO, 2018; KALBAR et al., 2017).

Dessa forma, o objetivo deste estudo foi comparar a sustentabilidade de quatro diferentes sistemas de produção de carne bovina, utilizando a abordagem de ASCV integrada com MCDM e análise de risco. Para tal, foi proposto um novo método de ponderação utilizando a teoria da probabilidade, isento do julgamento humano e que, além disso, proporciona uma análise de risco sobre diferentes situações para ASCV. Foi utilizado a teoria dos conjuntos difusos para conversão de variáveis qualitativas e quantitativas e aplicação do método VIKOR para hierarquização dos sistemas mais sustentáveis, com base em uma pontuação única.

2. PROCEDIMENTOS METODOLÓGICOS

O método do presente estudo foi dividido em três etapas: seleção e coleta de dados em fazendas de produção de gado de corte; modelagem dos sistemas de produção a partir dos dados coletados para avaliação; e descrição do modelo de análise e métodos de avaliação.

2.1 Seleção das fazendas para coleta de dados

A escolha das fazendas para coleta de dados foi realizada de forma não probabilística e amostragem por conveniência, a partir de critérios estabelecidos pelo pesquisador. Diante disto, a amostra por conveniência constitui o método com menor rigor entre os tipos de amostragem, destituída de qualquer rigor estatístico.

A definição dos critérios de escolha foi realizada de acordo com os objetivos deste estudo e resultados obtidos em uma pesquisa com interessados na cadeia, como produtores rurais, indústria e fornecedores (dados do autor). Como consequência, definiu-se como critérios de seleção: localização geográfica, restrita a propriedades na região sul do estado de Mato Grosso do Sul; possuir criação de gado de corte em ciclo completo (cria, cria e engorda); ser usuário ou ter utilizado pelo menos dois sistemas de produção dentre os quatro sistemas definidos previamente (suplementação mineral a pasto, suplementação proteica a pasto, fertilização das pastagens e rotação lavoura-pecuária) na mesma propriedade; acessibilidade ao responsável pela fazenda.

A partir disso, foram entrevistados 11 gestores de fazendas nos municípios de Itaquiraiá-MS, Naviraí-MS, Iguatemi-MS, Amambai-MS e Jateí-MS (Figura 1). As entrevistas foram realizadas entre os meses de novembro e dezembro de 2017 com os responsáveis pelas fazendas, sendo os gestores ou o proprietário. Em alguns casos, foram efetuados vários contatos para coleta de dados específicos após a consulta dos gestores a seus funcionários. Os pontos para entrevista foram previamente determinados sendo referentes as informações necessárias para modelagem dos sistemas de produção, sendo: área de pastagem, rebanho por categoria animal, peso médio por categoria, percentual de prenhez, número de bois abatidos anualmente, idade, peso de abate e composição da alimentação.

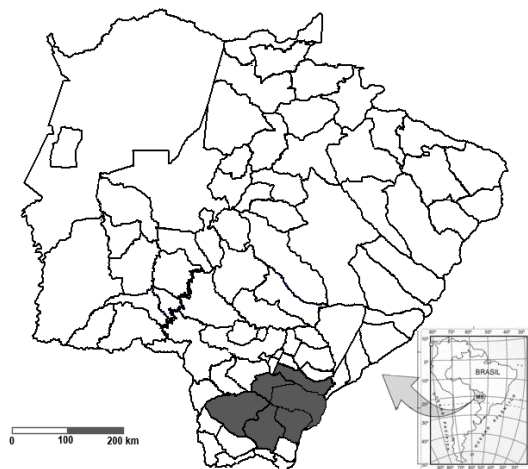


Figura 1 – Municípios onde as fazendas participantes estão localizadas na região sul do estado de Mato Grosso do Sul.

2.2 Modelagem dos sistemas de produção

Devido a variabilidade e características locais que podem afetar diretamente os resultados, optou-se por realizar uma modelagem dos sistemas de produção, de forma que seja possível estabelecer que os sistemas comparados possuem o mesmo tamanho de área, bem como características edafoclimáticas. Assim, os sistemas foram modelados para o período de um ano, considerando carga média anual após estabilização do rebanho e produção.

Para modelagem dos sistemas, a área total da propriedade foi definida em 1000 hectares, sendo 200 hectares de reserva legal (20% da área) e 20 hectares destinados para

construções, estradas e benfeitorias. A propriedade foi simulada no município de Naviraí-MS, centralizado na região sul do estado de Mato Grosso do Sul, com um rebanho de 209 mil cabeças (IBGE, 2016). Possui ainda um frigorífico com capacidade diária de abate de 1500 animais, apto a exportação, representando um polo para atividade de pecuária nesta região.

O clima é caracterizado como tropical com estação seca no inverno, com precipitação pluviométrica anual média de 1.500 mm, correspondendo ao tipo Am da classificação de Köppen e Geiger (CLIMATE DATA, 2018). A temperatura média é de 22,4°C, sendo janeiro o mês mais quente, com temperatura média de 25,9°C e junho o mais frio, com temperatura média de 18,5°C.

Para evitar distorções na análise, foram atribuídos valores fixos para algumas variáveis a partir de valores médios informados entre os produtores. O peso de abate foi definido como sendo de 520 quilos de peso vivo. A reprodução foi modelada por meio de inseminação artificial por tempo fixo (IATF) considerando um percentual de prenhez médio de 75% seguida de monta natural (1 touro para cada 30 vacas), sendo que as vacas que não emprenharam foram abatidas. Para estabilização e renovação do rebanho, anualmente são adicionadas ao plantel de reprodução 25% de novilhas, para substituição dos animais abatidos. Considerou-se o peso médio de 34 quilos ao nascimento, na proporção de 50% de machos e 50% de fêmeas. A taxa de mortalidade animal foi estabelecida em 2% para animais com idade inferior a 1 ano, 1% entre 1 e 2 anos e 0,5% para animais com mais de 2 anos.

Para determinar a composição do rebanho de cada sistema, primeiramente foram agrupados os dados coletados dos produtores rurais de acordo com o tipo de alimentação. Posteriormente, para redução da incerteza sobre os dados, foi utilizado o teste de Grubbs para exclusão de possíveis *outliers* (FÁVERO, 2015). Ao fim, a composição do rebanho foi determinada utilizando como restrições a carga animal da fazenda, peso médio por categoria, taxa de prenhez, taxa de mortalidade, idade e peso de abate (Tabela 1). Outras informações de entrada e saída dos sistemas são disponibilizadas nos Apêndices 1 a 6.

Tabela 1 – Composição do rebanho dos sistemas de produção analisados, em número de animais e peso médio anual.

Classe animal	Peso médio				Número de animais			
	REF	SSP	SPF	RLP	REF	SSP	SPF	RLP
Macho com <1 ano	103	119	142	142	110	140	280	175
Fêmea com <1 ano	88	93	117	117	110	140	280	175
Macho com 12 - 24 meses	239	284	350	350	108	138	277	174
Fêmea com 12 - 24 meses	194	224	275	275	108	138	277	174
Macho com 24- 36 meses	373	443	485	485	107	137	275	173
Fêmea com 24 a 36 meses	284	338	385	385	107	76	152	96
Vacas >36 meses	355	380	420	420	240	307	611	382
Macho >36 meses	480	520	520	520	106	0	0	0
Touro	643	645	680	680	10	12	25	16
Total	-	-	-	-	1006	1088	2177	1365

Notas: REF – Sistema referência; SSP – Sistema com suplementação proteica; SPF – Sistema com pastagens fertilizadas; RLP – Rotação lavoura-pecuária.

2.2.1 Sistema referência (pastejo e suplementação mineral)

No sistema referência (SR), a alimentação é realizada exclusivamente por pastejo de *Brachiaria brizantha* cv. *Marandú* e fornecimento de suplementação mineral, com consumo de 0,02% de peso vivo. Neste sistema, os bois são abatidos aos 42 meses de idade. O excedente de novilhas, após a reposição para reprodução, é abatido aos 30 meses com 300 quilos de peso vivo. Já as vacas que não obtiveram prenhez confirmada, são destinadas ao abate com peso médio de 355 quilos de peso vivo. A carga animal média anual do sistema é de 359,79 quilos de peso vivo por hectare.

2.2.2 Pastejo e suplementação proteinada

No sistema de suplementação proteinada (SSP), a alimentação é realizada por pastejo de *Brachiaria brizantha* cv. *Marandú* e fornecimento de suplementação mineral (agosto a abril) com consumo de 0,02% de peso vivo e suplementação proteica com 35% de proteína com consumo de 0,1% do peso vivo para o proteico durante a estação seca do ano (maio a julho). Nesse sistema, os bois são abatidos aos 36 meses de idade, sendo que o excedente de novilhas, após a reposição para reprodução, é abatido aos 24 meses com 296 quilos de peso vivo. Já as vacas que não tiveram prenhez confirmada, são destinadas ao abate com peso médio de 380 quilos de peso vivo. A carga animal média anual do sistema é de 397,98 quilos de peso vivo por hectare.

2.2.3 Pastejo, suplementação proteinada e fertilização das pastagens

No sistema com suplementação proteinada e fertilização das pastagens (SPF), a alimentação é realizada por pastejo de *Brachiaria brizantha* cv. *Marandú* e fornecimento de suplementação mineral (agosto a abril), suplementação proteica com 35% de proteína durante a estação seca do ano (maio a julho), com consumo de 0,02% de peso vivo para o suplemento mineral e 0,1% do peso vivo para o proteico. Na correção do solo para plantio, são utilizadas 2 toneladas de calcário, 300 quilos de super simples (18% de fósforo) e 250 quilos de fertilizante formulado 20-00-20. Para adubação de manutenção, são aplicados a cada 3 anos 1500 quilos de calcário, 250 quilos de super simples e 200 quilos de fertilizante formulado 20-00-20.

Neste sistema, os bois são abatidos aos 28 meses de idade e o excedente de novilhas, após a reposição para reprodução é abatido aos 24 meses com 350 quilos de peso vivo. Já as vacas que não obtiveram prenhez confirmada, são destinadas ao abate com peso médio de 420 quilos de peso vivo. A carga animal média anual do sistema é de 797,75 quilos de peso vivo por hectare.

2.2.4 Rotação lavoura-pecuária

O sistema de rotação lavoura-pecuária (RLP) foi modelado seguindo as características adotadas por pecuaristas da região, sendo o arrendamento de uma parte da propriedade para plantio de grãos a outro produtor, este possuindo conhecimento e maquinário específico para operação, com rotação de culturas a cada quatro anos. Neste sentido, a área de pastagem (780 hectares) foi dividida em 8 talhões de 97,5 hectares, sendo 4 talhões (390 hectares) destinados a pastagens e o restante (390 hectares) destinados ao plantio de grãos. Anualmente, um talhão de pastagem é destinado para o plantio de grãos enquanto que um talhão utilizado para plantio de grão retorna para pastagem. Desta forma, ocorre a rotação de culturas em todos os talhões da fazenda a cada 4 anos. O valor do arrendamento foi definido em 10 sacas de soja por hectare, após consulta a uma cooperativa de produtores de Naviraí-MS (novembro/2017).

A alimentação é realizada por pastejo de *Brachiaria brizantha* cv. *Marandu* e fornecimento de suplementação mineral (agosto a abril) com consumo de 0,02% de peso vivo e suplementação proteica com 35% de proteína durante a estação seca do ano (maio a julho), com consumo de 0,1% do peso vivo. Neste sistema, os bois são abatidos aos 28

meses de idade e o excedente de novilhas, após a reposição para reprodução, é abatido aos 24 meses com 350 quilos de peso vivo. Já as vacas que não tiveram prenhez confirmada, são destinadas ao abate com peso médio de 420 quilos de peso vivo. A carga animal média anual do sistema é de 1000 quilos de peso vivo por hectare. Para o cálculo da carga animal neste sistema considera-se somente a área destinada a pastagem, 390 hectares.

2.3 Definição do escopo

A delimitação do escopo do estudo consiste em determinar as fronteiras, ou seja, quais serão as entradas e saídas do sistema. Dessa forma, o escopo deste estudo foi denominado como “*cradle to farm gate*”, abrangendo desde extração de matérias-primas e processos de produção internos da propriedade rural até a entrega do animal pronto para abate no portão da fazenda (Figura 2).

Para o transporte dos insumos utilizados na propriedade foram considerados os locais de onde os produtores compram os insumos até a propriedade. O transporte de calcário e fertilizantes é realizado em carretas com capacidade de carga de 40 toneladas, sendo a distância atribuída de 600 km (Castro-PR) e 272 km (Dourados-MS) respectivamente. No caso do calcário, considera-se somente uma etapa da viagem, uma vez que a carreta retorna carregada de grãos. Já para os fertilizantes, considerou-se as duas etapas, uma vez que o veículo retorna vazio.

O transporte de sementes e suplemento mineral é realizado por caminhões com capacidade de carga de 15 toneladas, sendo a distância percorrida de 800 km (Presidente Prudente – SP) e 272 km (Dourados-MS) respectivamente. Em ambos os casos, considerou-se as duas etapas da viagem, uma vez que os veículos retornam vazios. O consumo de energia elétrica não foi contabilizado devido à baixa dependência dos sistemas, sendo excluído pelo critério de corte de 1% da ABNT (ABNT, 2009). Mais informações sobre o inventário dos sistemas estão disponíveis no Apêndice 7.



Figura 2 - Escopo de análise genérico para os sistemas de produção analisados.

2.4 Unidade funcional e alocação de impactos

A unidade funcional (UF) foi definida como 1 quilo de peso vivo de animal destinado para abate por hectare/ano. Isso significa que todas as entradas necessárias para produção animal em um hectare foram divididas pela quantidade, em quilos de peso vivo, de animais destinados para abate por hectare/ano. Na maioria dos estudos de ACV em gado de corte, a UF adotada é a produção de quilo de peso vivo pronto para abate no portão da fazenda, no entanto, para os respectivos sistemas analisados no estudo, onde a principal mudança foi a carga animal por hectare, utilizar essa unidade resultaria em inconsistência entre as análises ambiental e econômica.

No sistema de rotação lavoura-pecuária, a alocação dos impactos foi realizada de acordo com o uso do solo. Nas áreas de grãos, o manejo é realizado de forma similar a uma fazenda de plantio de grãos convencional, ou seja, não são utilizados fertilizantes, inseticidas ou herbicidas adicionais, devido à rotação de cultura. Assim, todas as entradas para o plantio de grãos serão atribuídas ao próprio sistema, não impactando para a parte de pecuária.

2.5 Definição dos critérios de avaliação e indicadores

Como apresentado anteriormente, a avaliação da sustentabilidade dos sistemas de produção foi definida como base o modelo ASCV, avaliando os critérios ambiental, econômico e social a partir de diferentes indicadores. O modelo abrange 7 etapas: seleção de indicadores para os critérios de avaliação; coleta de dados; conversão de dados qualitativos em quantitativos; atribuição de impacto; elaboração da matriz de tomada de decisão; ponderação dos critérios de avaliação; hierarquização dos indicadores; e determinação da probabilidade de ocorrência (Figura 3).

A avaliação da sustentabilidade é dividida em critérios (ambiental, econômico e social), somando ao todo 14 indicadores (Tabela 2). O objetivo da divisão dos critérios de avaliação em indicadores foi possibilitar uma melhor representação e, posteriormente, comparação dos sistemas por meio do modelo multicritério, facilitando a identificação de subcategorias e/ou indicadores conflitantes.

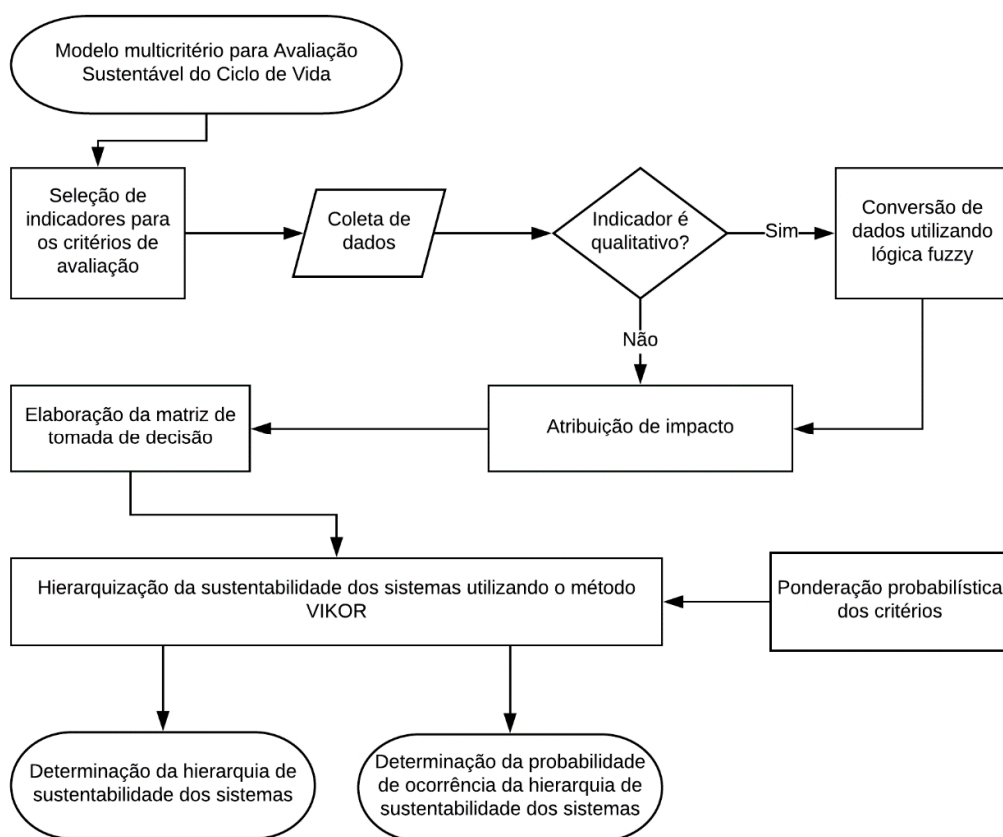


Figura 3 – Representação do modelo de análise multicritério para Avaliação Sustentável do Ciclo de Vida.

Tabela 2 – Classificação dos critérios de avaliação e indicadores por fonte de coleta de dados.

Critérios de avaliação	Indicadores	Simulação*	Produtores rurais	Fornecedores e instituições de crédito
Econômico	Custo de produção	X		
	Lucro operacional	X		
	Retorno sobre o investimento (ROI)	X		
	Disponibilidade de linhas de crédito e taxa de juro subsidiadas			X
Ambiental	Ocupação da terra	X		
	Potencial de aquecimento global	X		
	Eutrofização	X		
	Acidificação	X		
	Toxicidade humana total	X		
Social	Geração de postos de trabalho		X	
	Remuneração dos trabalhadores		X	
	Qualificação da mão-de-obra		X	
	Partes interessadas			X
	Complexidade do sistema			X

*Referentes as simulações efetuadas a partir de dados coletados com os produtores rurais.

2.5.1 Avaliação econômica

2.5.1.1 Custo de produção e lucro operacional

O cálculo do custo de produção e lucro operacional foram realizados utilizando a metodologia de Custeio do Ciclo de Vida (CCV), considerando o mesmo escopo das outras avaliações e atribuindo os resultados por UF. Contudo, os indicadores são considerados de forma separada para avaliação econômica por representarem diferentes impactos dos sistemas.

O CCV consiste na soma de todos os custos incidentes para obtenção de uma unidade funcional, possibilitando comparação entre os sistemas (FLORINDO et al., 2017a). Para determinação dos custos de produção, os valores dos insumos utilizados foram cotados com fornecedores no município de Naviraí-MS. Para simulação dos custos com plantio e manutenção das pastagens, operações mecanizadas e horas máquinas, foram utilizados dados disponibilizados pelo Informa Economics FNP (IEG FNP, 2017).

No cálculo das receitas, foi considerado o valor recebido por quilo do peso vivo de animal destinado ao abate de R\$ 4,67 para os bois e R\$ 4,23 para vacas e novilhas. Esse valor refere-se ao preço pago pelo frigorífico localizado em Naviraí-MS em dezembro de 2017. No sistema RLP, considera-se também como receita o valor recebido de arrendamento, sendo de 10 sacas de soja por hectare. Dessa forma, considerando-se o

valor da saca de soja disponível de R\$ 61,00 em Naviraí (25/01/2018), o sistema RLP obteve como receita anual de arrendamento o valor de R\$ 237.900,00.

Para todos os indicadores, os resultados são o produto da divisão do total por hectare pela produtividade de animais para abate (em quilos de peso vivo). Cabe ressaltar que em ambos indicadores, não são considerados como entradas os valores imobilizados do custo dos animais e da aquisição da área.

2.5.1.2 Retorno sobre o investimento

O retorno sobre o investimento (*Return on Investment* - ROI) consiste em uma métrica para comparar a rentabilidade percentual dos diferentes sistemas avaliados em um mesmo período de tempo, sem a definição de uma taxa efetiva de juros. Nesse caso, são inseridos os custos de ativos imobilizados em animais e o custo de aquisição da área. O objetivo do ROI é determinar qual o percentual de rentabilidade do sistema sobre os investimentos necessários para produção, agregando valores em ativos imobilizados.

Para calcular os valores imobilizados no rebanho por hectare, foram considerados os preços de mercado de dezembro/2017 de acordo com a classe animal, consultados em um estabelecimento de compra e venda de gado em Naviraí-MS. Já o valor de investimento imobilizado em área foi considerado a partir da média informada por três corretores rurais da região (dezembro/2017), sendo de R\$ 15.000,00 o hectare.

2.5.1.3 Disponibilidade de linhas de créditos e taxa de juros subsidiadas

Para mensurar este indicador, foram entrevistados quatro gestores de entidades financeiras de fomento de crédito agrícola da região sul de Mato Grosso do Sul. As entrevistas foram realizadas no mês de dezembro de 2017, solicitando que os gestores comparassem a disponibilidade de linhas de créditos para cada sistema avaliado com o sistema de referência, avaliando nos seguintes níveis: muito inferior, inferior, similar, superior ou muito superior. Dessa forma, como o sistema de referência possui posição neutra, foi atribuído a ele o valor de 5, por ser o ponto médio da escala.

2.5.2 Ambiental

2.5.2.1 Ocupação da terra

A ocupação da terra consiste em mensurar qual a área necessária de produção para obtenção de uma UF. O cálculo foi efetuado considerando o total de área destinada a pastagens da fazenda, convertido em metros quadrados e dividido pelo total de quilos de peso vivo de animais destinados para abate no ano.

2.5.2.2 Potencial impacto sobre mudanças climáticas

Na fase de produção animal, as emissões de GEE são oriundas de acordo com o IPCC (2006) da fermentação entérica dos animais (CH_4), gestão de dejetos (CH_4 e N_2O) e emissão direta a partir do uso de fertilizantes (N_2O). Para mensuração das emissões foi utilizado o protocolo do Tier II do IPCC (EGGLESTON et al., 2008), considerando valores para América do Sul.

O potencial impacto sobre mudanças climáticas dos sistemas avaliados foi atribuído utilizando valores de referência para caracterização das emissões do IPCC AR5, considerando um horizonte de tempo para 100 anos (MYHRE et al., 2013). O AR5 consiste na última publicação do IPCC calculando os fatores de caracterização para atribuição de impacto em $\text{CO}_2\text{-Eq}$. O horizonte de tempo consiste no período avaliado pelo IPCC para determinação de fatores de conversão sobre impactos em $\text{CO}_2\text{-Eq}$.

2.5.2.3 Potencial de eutrofização

A eutrofização consiste na acumulação de nutrientes em meio aquático, causada pela lixiviação de nitrogênio e compostos fosfatados, afetando o crescimento dos ecossistemas. Para atribuição de impacto sobre eutrofização foram utilizados os dados do inventário da modelagem dos sistemas por UF, com auxílio do software Open LCA, utilizando o método *midpoint* CML-2002.

2.5.2.4 Potencial de acidificação

A deposição de compostos inorgânicos, sejam elas sulfatos, nitratos e fosfatos na atmosfera faz com que essas substâncias sejam dissolvidas pela chuva, ocorrendo a chuva ácida, podendo gerar danos tanto para o solo como ambientes aquáticos. Para atribuição de impacto sobre eutrofização foram utilizados os dados do inventário da modelagem dos sistemas por UF, com auxílio do software Open LCA, utilizando o método *midpoint* CML-2002.

2.5.2.5 Toxicidade humana total

O fator de caracterização para toxicidade humana é expresso em unidades de tóxicos comparativas (CTU), que correlaciona o aumento da morbidade da população humana total por unidade de massa de um produto químico emitido, ou seja, número de casos dividido pela quantidade em quilos emitida (HUIJBREGTS et al., 2010). Para atribuição de impacto desse indicador, foi utilizado o modelo de caracterização USETOX, com o auxílio do software Open LCA.

2.5.3 Social

Para avaliação dos indicadores de geração de postos de trabalho, remuneração, complexidade do sistema e qualificação da mão de obra, foram entrevistados os mesmos gestores das propriedades utilizadas para a modelagem dos sistemas (11 no total). Solicitou-se aos entrevistados que avaliassem o desempenho de cada indicador, comparando cada sistema com o sistema de referência (pastejo e suplementação mineral).

Já para o indicador sobre as “partes interessadas”, foram entrevistados os gestores de três empresas fornecedoras de insumos agropecuários, utilizando a mesma forma de comparação descrita anteriormente. Em ambos os casos, como respostas, os entrevistados deveriam avaliar como muito inferior, inferior, similar, superior ou muito superior.

2.6 Conversão dos dados qualitativos em quantitativos

Após a coleta de dados, os indicadores com avaliações qualitativas foram interpretados utilizando a Teoria dos Conjuntos *Fuzzy*, permitindo a quantificação dos

resultados e redução da incerteza. A Teoria dos Conjuntos *Fuzzy* consiste em um método matemático usado para lidar com imprecisões e incertezas, inerentes ao julgamento humano durante o processo de tomada de decisão, sendo conduzida por meio de termos linguísticos e graus de adesão (TZENG; HUANG, 2011). O processo de inferência do sistema *Fuzzy* foi realizado pelo método de Takagi-Sugeno (TZENG; HUANG, 2011), utilizando funções de pertinência triangulares e semi-trapezoidais (Tabela 3).

Tabela 3 - Definição das variáveis linguísticas

Termos Linguísticos	Escala	Função
Muito inferior	(0,0,3)	Semi-trapezoidal
Inferior	(0,3,5)	Triangular
Similar	(2,5,8)	Triangular
Superior	(5,7,10)	Triangular
Muito superior	(8,10,10)	Semi-trapezoidal

Fonte: Adaptado pelo autor a partir de Tzeng e Huang (2011).

2.7 Forma de ponderação para as categorias e indicadores

Comumente, em estudos aplicando modelos MCDM é necessário a utilização de pesos para cada critério, com o objetivo de determinar de forma mais realista a hierarquização das alternativas. No entanto, o processo de ponderação em muitas vezes difere-se de acordo com os objetivos dos interessados, sendo muitas vezes realizado de forma subjetiva. A ponderação dos indicadores irá afetar o resultado obtido pela aplicação do método, gerando incerteza durante o processo de tomada de decisão.

Com o objetivo de reduzir essa incerteza quanto à ponderação, utilizou-se a teoria de probabilidade para compor uma matriz considerando todas as combinações de pesos possíveis para os critérios ambiental, econômico e social. O peso de cada categoria poderia variar entre 1% e 50%, ao passo de 1%, resultando em 1248 possíveis combinações (Apêndice 8). O peso atribuído em cada combinação para cada critério foi distribuído proporcionalmente para seus indicadores.

2.8 Método VIKOR

A análise proposta neste estudo para os sistemas de produção envolve diferentes critérios, compostos por diferentes indicadores, o que dificulta ou mesmo impossibilita a seleção de uma melhor alternativa sem a utilização de métodos de ordenamento multicritério, uma vez que existem critérios concorrentes. Por essa razão, utilizou-se o

método VIKOR (*Vlse Kriterijumska Optimizacija I Kompromisno Resenje*), que tem por objetivo estabelecer uma hierarquização das alternativas de acordo com a ponderação e pontuação dos critérios avaliados. Uma das características do método VIKOR consiste em ser não compensatório, considerando somente o desvio positivo em relação a solução ótima, possibilitando maior estabilidade entre os critérios.

Sua aplicação pode ser representada de forma análoga em três etapas. Na fase 1, identificam-se os valores máximo ($f_j^* = \max f_{ij}$) e mínimo ($f_j^- = \min f_{ij}$) da variável i . Na fase 2, são determinados os valores de S_i e R_i para $i= 1, 2, 3...n$ (Equações 1 e 2). Finalmente, na fase 3, é calculado o valor de Q_i para $i= 1, 2, 3...n$ (Equação 3).

$$S_i = \sum_{j=1}^m \left[w_j \frac{(f_j^* - f_{ij})}{(f_j^* - f_j^-)} \right] \quad (\text{Equação 1})$$

$$R_i = \max_j \left[w_j \frac{(f_j^* - f_{ij})}{(f_j^* - f_j^-)} \right] \quad (\text{Equação 2})$$

$$Q_i = (0.5) \frac{(S_i - S^-)}{S^+ - S^-} + (1 - \nu) \frac{(R_i - R^-)}{R^+ - R^-} \quad (\text{Equação 3})$$

Como resultado, o modelo apresenta três *scores*: S, R com preferência nos maiores valores e Q com preferência nos menores. Assim, a melhor alternativa fica condicionada a duas condições: a' possui “vantagem aceitável” sobre as demais se, quando comparada com a'' (alternativa imediatamente posterior), for verificado que: $Q(a'') - Q(a') \geq DQ$ e $DQ = 1/(n - 1)$; ou a' tem “estabilidade aceitável na tomada de decisão” se, além de melhor em Q também for melhor em S e/ou R. Geralmente esta é a condição quando utilizado o valor de $\nu = 0,5$.

2.9 Análise de risco

A análise de risco desse estudo se concentrou em três objetivos: identificação da probabilidade de classificação de cada sistema na hierarquização; avaliação da probabilidade do sistema com maior percentual de classificação em primeiro na hierarquia ser classificado como vantagem aceitável sobre os outros sistemas pelo método VIKOR; verificação do efeito de uma maximização do peso de um indicador nos resultados.

Dessa forma, para determinação da probabilidade de classificação foram avaliadas todas as posições dos sistemas na hierarquia após a aplicação do método VIKOR para as 1248 combinações de peso. Posteriormente, a probabilidade de ocorrência foi determinada pelo número de ocorrências dividido pelo total de combinações. Da mesma forma, foi selecionado o sistema com maior número de ocorrências em primeira colocação na hierarquia e aplicado o cálculo $Q(a'') - Q(a') \geq DQ$ e $DQ = 1/(n - 1)$ sobre os resultados do método VIKOR e, também posteriormente, a probabilidade de ocorrência foi determinada pelo número de ocorrências dividido pelo total de combinações.

Para verificar se a alteração do peso de um indicador em um critério poderia afetar a hierarquia dos sistemas, o peso de cada indicador foi maximizado para 50% do peso total de cada critério, sendo o peso restante dividido de forma igualitária entre os outros indicadores. Essa avaliação foi feita de forma individual para cada indicador, sem alteração na ponderação nos indicadores de outros critérios e posteriormente a aplicação do método VIKOR para uma nova hierarquização dos sistemas.

3. RESULTADOS

3.1 Econômico

Analisando a pontuação dos critérios econômicos dos sistemas, a RLP destacou-se com a melhor performance em todos os casos (Figura 4). Entre as possíveis explicações para o melhor desempenho, a rotação entre culturas agrícolas e pastagens proporcionou um menor custo de produção para alimentação, maior lotação animal por hectare, além da maior comercialização de quilos de peso vivo animal para abate por hectare/ano quando comparado aos outros sistemas. A utilização de apenas 50% da área produtiva da fazenda para pastagem resultou em menores valores financeiros imobilizados no plantel de animais e em uma receita adicional oriunda do recebimento do arrendamento da área destinada ao plantio de grãos. As seções a seguir descrevem detalhadamente o desempenho de cada critério de avaliação

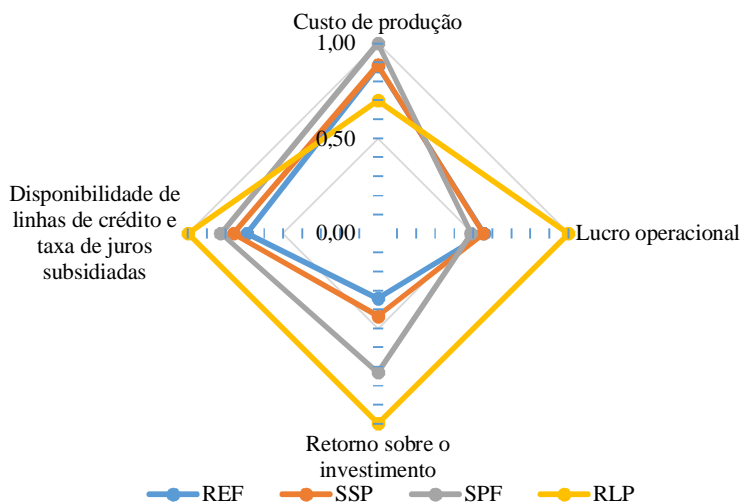


Figura 4 – Desempenho dos sistemas de produção avaliados de acordo com o critério econômico.

3.1.1 Custo de produção

A adoção de um novo sistema de produção agrícola está condicionada diretamente aos investimentos necessários para sua implantação, sendo que altos investimentos podem inviabilizar a implantação pelos produtores. Neste sentido, sistemas com menor necessidade de investimentos para produção podem tornar-se mais atrativos para os produtores rurais. Comparando os custos de produção por UF entre os sistemas, o sistema com rotação de lavoura e pecuária (RLP) obteve os menores custos de produção (R\$ 1,64 por UF produzida), enquanto que o sistema com fertilização das pastagens (SPF) obteve o maior custo (R\$ 2,34), sendo 43% superior ao RLP (Tabela 4).

O SPF, mesmo possuindo uma alta produtividade por hectare quando comparado aos sistemas REF e SSP, obteve o maior custo por UF produzida devido ao uso de fertilizantes químicos para produção. Já o sistema RLP, apresentou uma redução significativa de custos quando comparado aos outros sistemas na fase de formação das pastagens, uma vez que a área quando retorna do plantio de grãos para pastagem está totalmente mecanizada para o plantio, não havendo necessidade de operação de gradagem e nivelção. Em relação a fonte geradora, a despesa com pessoal, sendo o pagamento de salários e encargos trabalhistas para os funcionários representou o maior custo para todos os sistemas avaliados. Este variou de aproximadamente 31% do custo total do sistema SPF até 53% no sistema REF.

Tabela 4 – Comparação dos custos de produção dos sistemas avaliados por fonte geradora (R\$/UF).

Descrição	REF	SSP	SFP	RLP
Plantio				
Operações mecanizadas	0,20	0,15	0,08	0,01
Insumos	0,19	0,15	0,29	0,14
Manutenção anual				
Operações mecanizadas	0,00	0,00	0,02	0,00
Insumos	0,00	0,00	0,39	0,00
Suplementação				
Não proteico	0,40	0,23	0,22	0,22
Proteico	0,00	0,51	0,44	0,44
Trator (transporte interno)	0,01	0,03	0,03	0,03
Reprodução				
Medicamentos e Sêmen	0,11	0,10	0,10	0,10
Veterinário	0,05	0,05	0,05	0,05
Despesas com pessoal				
Salários e tributos	1,09	0,85	0,73	0,66
Custo total anual	2,05	2,06	2,34	1,64

3.1.2 Lucro operacional

Para o cálculo do lucro operacional, foram considerados todas as entradas financeiras da fazenda, deduzidas dos custos de produção e, posteriormente, divididos pelo total de quilos de peso vivo abatidos anualmente, de acordo com a UF definida. Dessa forma, para o sistema RLP considerou-se o valor de arrendamento recebido para o plantio de grãos e a receita da venda de animais para abate, enquanto que para os outros sistemas, a receita consiste apenas na venda de animais para abate.

O sistema com rotação de culturas (RLP) obteve o maior valor para o lucro operacional, R\$ 4,47 por UF, superando em mais de 51% o SFP, este com menores valores de lucro operacional por UF (Tabela 5). O melhor desempenho do sistema RLP pode ser explicado principalmente pela receita adicional obtida com o arrendamento, além de ter obtido os menores custos de produção. Contudo, destaca-se que avaliando por hectare, mesmo obtendo o menor valor de lucro operacional por UF, o sistema SFP apresentou desempenho superiores aos sistemas REF e SPP (145% e 87% respectivamente), devido a produtividade superior de quilos de peso vivo animal por hectare/ano quando comparado aos respectivos sistemas.

Tabela 5 – Receita bruta, lucro operacional e retorno sobre o capital investido para os sistemas avaliados (em reais).

Descrição	REF	SPP	SPF	RLP
Receita operacional bruta	4,45	4,50	4,50	6,12
Venda de bois para abate	2,81	2,81	2,68	2,73
Venda de novilhas para abate	0,65	0,66	0,73	0,75
Venda de vacas para abate	0,99	1,03	1,09	1,10
Arrendamento	-	-	-	1,55
Despesas fixas	1,09	0,85	0,73	0,66
Despesas com pessoal	1,09	0,85	0,73	0,66
Custos variáveis	0,96	1,22	1,61	0,99
Reforma de pastagens	0,39	0,30	0,78	0,15
Suplemento mineral	0,41	0,76	0,68	0,69
Inseminação artificial	0,16	0,16	0,15	0,15
Lucro operacional (UF)	2,39	2,44	2,16	4,47
Lucro operacional (há)	281,03	369,19	688,98	882,09
Investimento de capital	16.608,61	16.762,22	18.566,30	17.235,66
Plantel	1.608,61	1.762,22	3.566,30	2.235,66
Fazenda	15.000,00	15.000,00	15.000,00	15.000,00
Retorno sobre o capital investido	0,02	0,02	0,04	0,05

3.1.3 Retorno sobre o capital investido

O ROI consiste em uma das métricas financeiras mais importantes para comparação dos sistemas avaliados, no entanto, em muitas vezes é negligenciado pelos produtores rurais por não considerarem ativos financeiros imobilizados no plantel de animais e área para produção. Nesse sentido, o sistema RLP obteve o melhor ROI entre os sistemas avaliados, de 5,12% ao ano, superando em aproximadamente 203% o sistema REF, para o qual o ROI foi de 1,69% ao ano.

3.1.4 Disponibilidade de linhas de financiamento e taxa de juros

Devido à restrição orçamentária dos produtores rurais e necessidade de investimentos para implantação de novos sistemas agrícolas de produção, muitas vezes os produtores necessitam de financiamentos junto a instituições de créditos para realizar investimentos. A disponibilidade de linhas de financiamento, o nível de exigência de garantias e as taxas de juros podem incentivar os produtores a obter recursos para novos investimentos.

Neste sentido, após o processo de defuzzificação das entrevistas, ou seja, a conversão dos termos linguísticos na escala pela função de pertinência, o sistema RLP obteve o melhor desempenho quando comparado ao sistema referência (6,25), obtendo um valor de 9,063, enquanto que o sistema SSP obteve o pior desempenho (6,875), sendo

os valores quanto mais próximo de 1 melhor. Já o sistema SPF obteve valor intermediário (7,5) quando comparado aos outros sistemas.

3.2 Ambiental

O sistema de produção RLP obteve o melhor desempenho na maioria dos indicadores de avaliação ambiental, contudo, cabe ressaltar que houve variação significativa entre os sistemas nos mesmos indicadores (Tabela 6 e Figura 5). As principais fontes de geração de impactos foram o uso de fertilizantes químicos, queima de combustíveis fósseis por máquinas agrícolas, suplemento mineral proteinado e fermentação entérica dos animais.

Tabela 6 – Potenciais impactos ambientais dos sistemas por indicador avaliado.

Categoria de impacto	REF	SSP	SFP	RLP
Ocupação de terra, m ²	8,62E+01	6,59E+01	3,12E+01	2,48E+01
Potencial impacto sobre mudanças climáticas, kg de CO ₂ -Eq	1,70E+01	1,54E+01	1,37E+01	1,29E+01
Potencial de acidificação, kg de SO ₂ -Eq	3,09E-03	4,94E-03	8,07E-03	2,76E-03
Potencial de eutrofização, kg de PO ₄ -Eq	1,82E-03	2,59E-03	4,08E-03	2,30E-03
Toxicidade humana total, CTU	7,52E-07	6,61E-07	6,79E-07	1,88E-07

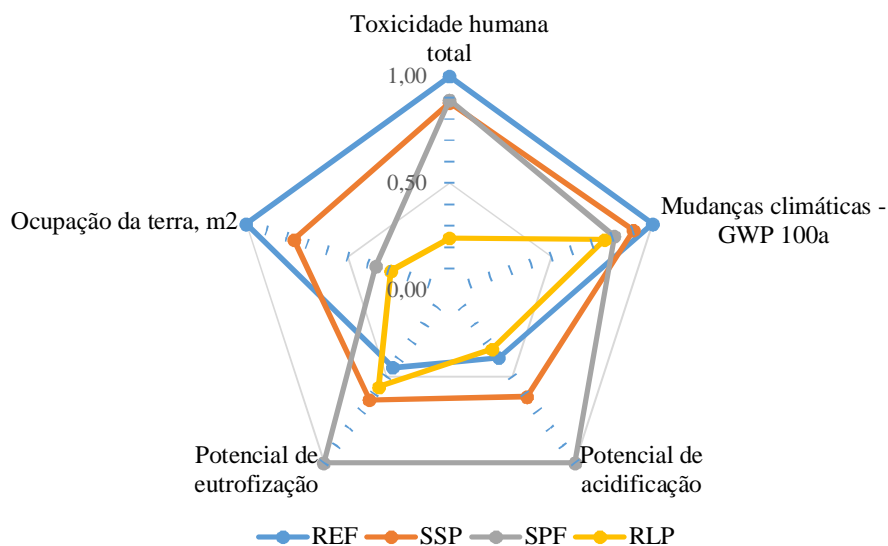


Figura 5 – Desempenho dos sistemas nos indicadores de avaliação de impactos ambientais.

3.1.1 Ocupação da terra

A ocupação da terra consiste em um importante indicador para comparar diferentes sistemas agrícolas, permitindo a identificação de sistemas com maior produtividade por hectare, contribuindo para maior eficiência no uso de terras agrícolas. Nesse sentido, o sistema RLP possui menor necessidade de área para obtenção de uma UF (24,83 m²), enquanto que o sistema REF possui o maior valor, superando o RLP em 236% (Tabela 7). De forma análoga, comparando a produção de animais prontos para abate, são necessários 3,47 hectares do sistema REF para obter a mesma produtividade de 1 hectare do sistema RLP.

Tabela 7 – Carga animal média, produtividade e área necessária para a produção de uma UF dos sistemas avaliados.

Descrição	REF	SSP	SPF	RLP
Área total destinada a pastagens (ha)	780,00	780,00	780,00	390,00
Carga animal média por há (kg de peso vivo)	359,79	397,98	797,75	1000,01
Produtividade de animais para abate por ha (kg de peso vivo)	116,05	151,82	320,37	402,75
Área necessária para produção de uma UF (m ²)	86,17	65,87	31,21	24,83

3.1.2 Potencial de aquecimento global

Neste indicador, o sistema de rotação de culturas (RLP) obteve o melhor desempenho, com 12,78 kg de CO₂-Eq por unidade funcional e o sistema REF obteve o pior desempenho, superando-o em aproximadamente 31%. Entre as fontes causadoras de impacto, destaca-se a fermentação entérica dos animais, que representou mais de 85% do total dos impactos para todos os sistemas (Tabela 8).

O sistema SPF, mesmo com valores de fermentação entérica próximos aos do sistema RLP, obteve um valor em aproximadamente 7% superior, devido a impactos diretos e indiretos relacionados ao uso de fertilizantes químicos. Ocorreu também uma diferença significativa de impactos referentes ao uso de suplemento mineral quando o sistema REF é comparado aos demais, devido ao uso de suplementação proteinada (SSP, SPF e RLP), com adição de ureia e farelos de soja e milho, além de maior consumo animal (0,1% para o proteinado e 0,02% para suplemento sem adição de proteína).

Tabela 8 – Potencial de aquecimento global de cada sistema avaliado, distribuído por fonte geradora, em quilos de CO₂-Eq.

Descrição	REF	SSP	SPF	RLP
			CO ₂ -Eq.	
Fermentação entérica	15,141	13,225	11,005	10,982
Gestão de dejetos (CH ₄)	0,119	0,104	0,090	0,090
Gestão de dejetos (N ₂ O)	0,993	0,889	1,155	1,153
Fertilizantes	0,000	0,000	0,649	0,000
Queima diesel	0,285	0,250	0,142	0,071
Produção de sementes	0,015	0,011	0,005	0,011
Calcário	0,004	0,003	0,004	0,000
Suplemento mineral	0,026	0,526	0,473	0,443
Transporte	0,111	0,104	0,124	0,027
Produção de diesel	0,021	0,019	0,011	0,005

3.1.3 Potencial de eutrofização

No cálculo do potencial de eutrofização, mesmo o sistema REF tendo produtividade muito inferior quando comparado aos outros sistemas, foi o de menor impacto (1,82E-03 kg de PO⁴-Eq), enquanto que o sistema SPF obteve os maiores valores, (4,06E-03), superando-o em aproximadamente 123%. A explicação para o melhor desempenho para o sistema REF consiste em que a eutrofização é causada pela lixiviação de nitrogênio e compostos fosfatados para o meio aquático, nutrientes presentes nas formulações do suplemento mineral proteico e fertilizantes. Por essa razão, a utilização de fertilizantes nitrogenados e fosfatados contribui significativamente para os impactos gerados no sistema SPF.

3.1.4 Potencial de acidificação

O sistema RLP foi o de melhor desempenho entre os sistemas (2,76E-03 kg de SO₂-Eq), enquanto que o sistema SPF teve o pior desempenho (8,08E-03 kg de SO₂-Eq), superando-o em aproximadamente 193%. As principais fontes deste impacto potencial foram a suplementação proteinada, representando aproximadamente 75% do total dos impactos para o sistema RLP; queima de combustíveis fósseis por máquinas agrícolas no sistema REF, representando mais de 59% do total dos impactos; e o uso de fertilizantes químicos, representando mais de 50% do total dos impactos para o sistema SPF. Dessa forma, mesmo não havendo a utilização de suplementação proteinada no sistema REF, o sistema RLP obteve o melhor desempenho devido à baixa necessidade de mecanização

agrícola para plantio, resultando em menores impactos inerentes à queima de combustíveis fósseis.

3.1.5 Toxicidade humana total

A toxicidade humana total é composta por substâncias inorgânicas inaláveis, radiações ionizantes e substâncias cancerígenas e não cancerígenas, expressas em unidades de tóxicos comparativos (CTU). O sistema RLP foi o de melhor desempenho, com o valor de 1,88E-07 CTU por UF, inferior a 30% dos impactos dos outros sistemas avaliados.

Essa grande variação nos resultados pode ser explicada pela principal fonte geradora de impacto, a queima de combustíveis fósseis por máquinas agrícolas, que representaram aproximadamente 93% do total dos impactos para o sistema REF. Já o sistema RLP teve um impacto significativamente inferior devido à baixa necessidade de mecanização agrícola para o plantio. Cabe ressaltar que, mesmo havendo queima de combustível fóssil no transporte de insumos, estes foram irrelevantes para a unidade funcional utilizada no estudo.

3.2 Social

Entre os indicadores sociais avaliados nesse estudo, o sistema SPF obteve a melhor pontuação na maioria dos indicadores (Tabela 9 e Figura 6). Este resultado pode ser explicado pela utilização de fertilizantes e pela destinação de toda a área da propriedade para a pecuária, refletindo em uma maior quantidade de animais e, conseqüentemente, maior necessidade de mão de obra. Como consequência, este sistema necessita de maior qualificação da mão de obra, melhor remuneração e apresenta maior complexidade devido ao maior volume de processos envolvidos. Além disso, também obteve a melhor pontuação em relação às partes interessadas.

Tabela 9 – Pontuação dos indicadores sociais para os sistemas avaliados.

Descrição	REF	SSP	SPF	RLP
Geração de postos de trabalho	6,25	6,93	8,64	7,39
Remuneração dos trabalhadores	6,25	6,48	8,30	7,84
Qualificação de mão de obra	6,25	6,93	8,86	8,52
Complexidade do sistema	6,25	6,70	9,32	9,09
Partes interessadas	6,25	7,16	9,55	8,91

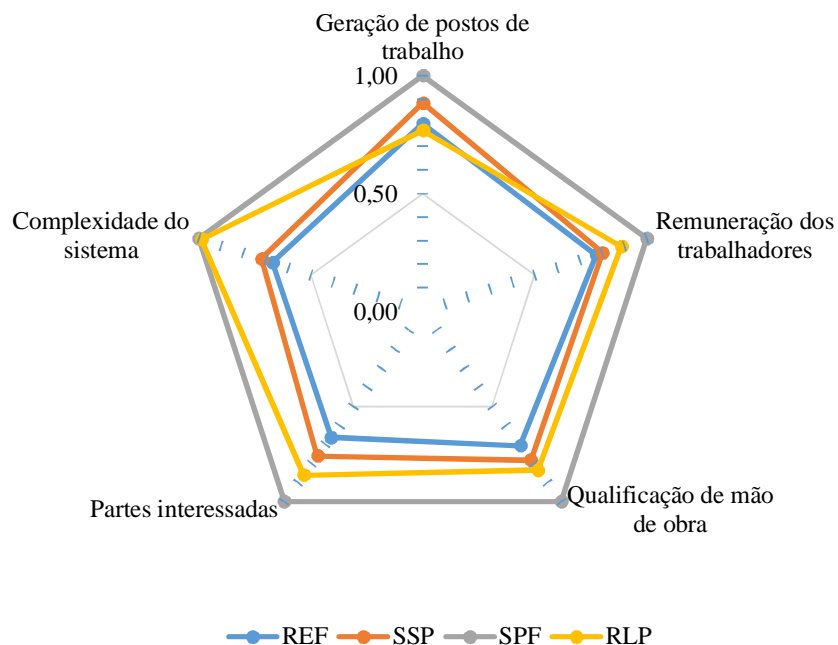


Figura 6 – Comparação do desempenho dos indicadores de avaliação social entre os sistemas avaliados.

3.2.1 Geração de postos de trabalho

As diferentes práticas agrícolas adotadas em cada sistema de produção podem influenciar na necessidade de trabalhadores por área de produção, tanto pelo maior número de processos ou frequência com a qual precisam ser executadas. Devido a isso, o sistema SPF obteve a melhor pontuação (8,64), superando em 38% o sistema REF, com o pior desempenho.

O sistema SPF conta com o maior rebanho bovino entre todos os sistemas avaliados (2173 animais), além de possuir mais operações agrícolas por conta da fertilização e manejo das pastagens, dependendo de uma maior quantidade de trabalhadores para o manejo dos animais e atividades agrícolas.

3.2.2 Remuneração dos trabalhadores

A necessidade de mão de obra com maior especialização para adoção de diferentes sistemas agrícolas pode resultar em uma variação no valor da remuneração da

hora/trabalho. O sistema SPF teve a melhor pontuação nesse indicador (8,30), superando em aproximadamente 33% o sistema REF. Uma possível explicação para essa variação entre os sistemas é que o sistema SPF exige mais habilidades dos trabalhadores, como a suplementação mineral e fertilização das pastagens, resultando em um manejo diferenciado dos outros sistemas.

3.2.3 Qualificação de mão de obra

Assim como o indicador de remuneração dos trabalhadores, o sistema SPF teve os maiores valores de pontuação (8,86), enquanto que o sistema REF teve a menor pontuação (6,25). Esse desempenho condiz com a pontuação do indicador anterior, uma vez que o sistema SPF exige mais habilidades dos trabalhadores, devido a diferentes atividades desenvolvidas e, conseqüentemente, demanda maior qualificação da mão de obra e remuneração aos trabalhadores envolvidos.

3.2.4 Complexidade do sistema

A dificuldade de adoção de um sistema de produção, em consequência da gestão de processos e práticas agrícolas pode inviabilizar a adoção de uma estratégia promissora de produção por produtores rurais. Nesse indicador de avaliação, os sistemas SPF e RLP obtiveram as maiores pontuações (9,32 e 9,09 respectivamente) enquanto que os sistemas REF e SSP obtiveram as menores pontuações (6,25 e 6,70 respectivamente). Sobre este indicador, é importante destacar que os sistemas com menores pontuações apresentam o melhor desempenho na hierarquização, por se caracterizarem pela menor complexidade.

A determinação do sistema SPF como o de maior complexidade entre os sistemas avaliados pode ser uma das explicações para a baixa adesão dos produtores a esse modelo de produção, aliado a outros fatores, como por exemplo, o custo de produção. Entretanto, o sistema RLP, mesmo tendo a parte agrícola conduzida por outro, isentando o produtor rural de qualquer decisão nesta atividade, obteve pontuação acima de 9, representando uma alta complexidade. Possivelmente, se a atividade agrícola do sistema RLP fosse conduzida pelo mesmo produtor rural, este sistema se tornaria o mais complexo, sendo esta uma das explicações plausíveis para que os produtores terceirizem esta produção para um agricultor, com maior conhecimento sobre essa atividade.

3.2.5 Partes interessadas

Em relação às partes interessadas, novamente os sistemas SPF e RLP obtiveram as maiores pontuações, enquanto que os sistemas REF e SSP foram os com as menores pontuações. Uma possível explicação é a maior dependência de insumos para a produção e, conseqüentemente, maior faturamento para as empresas fornecedoras. No sistema SPF por exemplo, considerando fertilizantes, suplemento mineral e sementes de pastagem, o custo médio anual por hectare é de R\$ 514,20 enquanto que no sistema REF é de R\$ 113,89. Ou seja, comparando os sistemas, um fornecedor necessitaria atender uma área de 3,5 vezes maior de fazendas com sistema REF para obter o mesmo faturamento do sistema SPF.

Da mesma forma, o sistema RLP obteve um custo de aproximadamente 151 mil reais por ano com os mesmos insumos acima citados, resultando em um faturamento médio de R\$ 193,65 por hectare. Contudo, esse sistema utiliza somente 390 hectares para pastagem, enquanto que o restante da área é destinado a atividades agrícolas, este com custos de produção superiores ao mensurado nesse estudo para pecuária, influenciando diretamente na avaliação dos fornecedores.

3.3 Hierarquização

A primeira etapa no processo de tomada de decisão consiste na determinação da matriz de tomada de decisão, apresentando a pontuação para todos os indicadores de avaliação estabelecidos para os sistemas comparados. Dessa forma, na Tabela 10 são apresentados os valores de cada indicador para cada sistema avaliado e sua ordem de preferência, indicando se quanto maior a pontuação melhor o desempenho ou se menor a pontuação, melhor o desempenho. Importante ressaltar que os dados apresentados na Tabela 10 não estão normatizados, sendo a normatização realizada diretamente no modelo VIKOR.

Conforme descrito na seção de procedimentos metodológicos, as ponderações para aplicação do método VIKOR foram determinadas matematicamente, considerando todas as 1248 combinações possíveis de pesos para as categorias social, econômico e ambiental, com a variação de cada categoria entre 1% e 50%, a passo de 1%. Conseqüentemente, o peso estabelecido para cada grupo de indicadores foi dividido proporcionalmente pelo número de indicadores, sendo 5 para os critérios social e

ambiental e 4 para o critério econômico. Após isso, o modelo VIKOR foi aplicado utilizando a matriz de tomada de decisão individualmente para cada uma das 1248 combinações possíveis, sendo os valores médios de Si, Ri e Q apresentados na Tabela 11.

Tabela 10 - Matriz de tomada de decisão para hierarquização dos sistemas.

	Indicador	Preferência	REF	SSP	SPF	RLP	
Social	1	Geração de postos de trabalho	> melhor	6,2500	6,9318	7,8409	6,0227
	2	Remuneração dos trabalhadores	> melhor	6,2500	6,4773	8,0682	7,1591
	3	Qualificação de mão de obra	>melhor	6,2500	6,9318	8,8636	7,3864
	4	Partes interessadas	>melhor	6,2500	7,1591	9,4318	8,1136
	5	Complexidade do sistema	<melhor	6,2500	6,7045	9,3182	9,2045
Econômico	6	Custo de produção	<melhor	2,0525	2,0636	2,3399	1,6446
	7	Lucro operacional	<melhor	2,3946	2,4371	2,1614	4,4722
	8	Retorno sobre o investimento	>melhor	0,0169	0,0220	0,0371	0,0512
	9	Disponibilidade de linhas de crédito e taxa de juros subsidiadas	>melhor	6,2500	6,8750	7,5000	9,0625
Ambiental	10	Toxicidade humana total	<melhor	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000
	11	Mudanças climáticas - GWP 100a	<melhor	16,7148	15,1298	13,5674	12,7791
	12	Potencial de acidificação	<melhor	0,0032	0,0050	0,0081	0,0028
	13	Potencial de eutrofização	<melhor	0,0018	0,0026	0,0041	0,0023
	14	Ocupação da terra, m2	<melhor	86,1688	65,8673	31,2137	24,8295

No método VIKOR, o indicador Si indica a distância relativa do critério 'i' da solução ideal positiva, sendo a melhor combinação obtida a partir dos menores valores de Si. Dessa forma, o sistema RLP obteve os menores valores de Si (0,243), sendo este valor a média das 1248 comparações. Já o sistema com maior pontuação, ou seja, pior desempenho nesse indicador, foi o sistema REF (0,754). Contudo, é importante destacar que, mesmo utilizando o limite do desvio padrão superior para o sistema RLP (0,324) e o mínimo para o SPF (0,464), o RLP ainda teria o melhor desempenho.

Tabela 11 – Valores médios e desvios inferiores e superiores de Si, Ri e Q para os sistemas avaliados.

Critérios de hierarquização	REF	SSP	SPF	RLP
Si				
Média	0,754	0,648	0,524	0,243
Desvio inferior	0,727	0,625	0,464	0,162
Desvio superior	0,781	0,672	0,585	0,324
Ri				
Média	0,099	0,087	0,099	0,067
Desvio inferior	0,086	0,074	0,086	0,043
Desvio superior	0,112	0,099	0,112	0,091
Q				
Média	1,000	0,596	0,761	0,148
Desvio inferior	1,000	0,395	0,667	-0,068
Desvio superior	1,000	0,796	0,855	0,363

Já o indicador R_i , representa o arrependimento, a situação mais desconfortável sobre o critério i em relação à situação ideal. O desempenho do indicador R_i foi semelhante ao S_i , tendo o sistema RLP a melhor pontuação, contudo, destaca-se a amplitude do desvio padrão para esse sistema neste indicador, superior à obtida no S_i , devido ao desempenho inferior do RLP ao SPF em critérios sociais.

Considerando os valores de Q , o sistema RLP obteve os menores valores (0,148), com desempenho muito superior quando comparado aos outros sistemas. O sistema SSP, mesmo tendo desempenho pior para S_i quando comparado ao SPF, obteve a segunda colocação devido ao melhor desempenho de R_i . Por essa razão, o sistema REF representa a melhor opção entre os sistemas avaliados por satisfazer a primeira condição do método VIKOR (vantagem aceitável), sendo a diferença entre ele e o segundo colocado (0,448) superior ao valor de 1 dividido pelo número de alternativas, descontando o próprio sistema (0,333).

3.4 Análise de risco

A partir dos resultados do método VIKOR, a análise de risco concentrou-se em três situações: identificar a probabilidade do sistema RLP ser classificado como o melhor sistema, independente da ponderação; determinar o número de vezes que RLP é a melhor opção, com vantagem aceitável; e avaliar se a maximização de um indicador afetaria os resultados. Mesmo obtendo a melhor classificação entre os sistemas, o sistema REF não foi o de melhor classificação para cada ponderação, quando analisadas individualmente (Tabela 12 e Figura 7).

Tabela 12 – Hierarquização dos sistemas pelas possibilidades de ponderação e probabilidade de ocorrência.

Sistemas avaliados	Análise dos dados				Probabilidade de ocorrência			
	1°	2°	3°	4°	1°	2°	3°	4°
REF	0	0	0	1248	0%	0%	0%	100%
SSP	327	921	0	0	26%	74%	0%	0%
SPF	0	0	1248	0	0%	0%	100%	0%
RLP	921	327	0	0	74%	26%	0%	0%

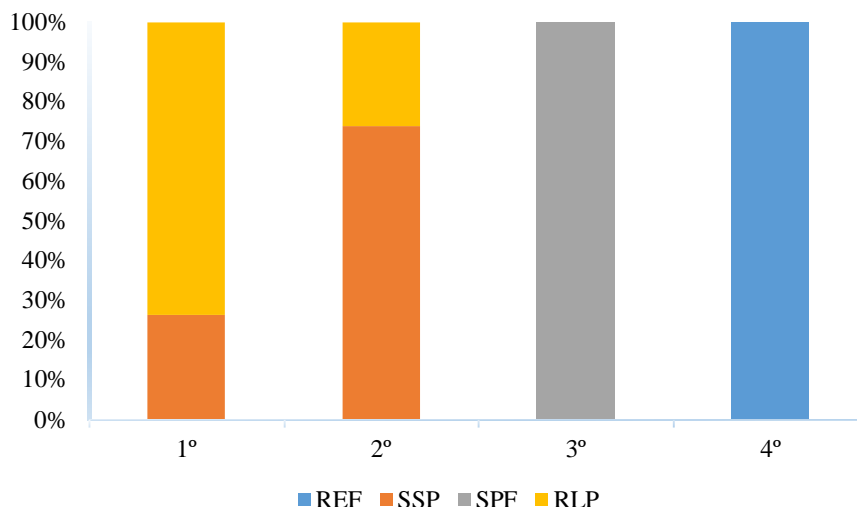


Figura 7 – Probabilidade de ocorrência da classificação de cada sistema avaliado.

O sistema RLP obteve a primeira colocação na hierarquização das alternativas em 921 vezes das 1248 possíveis, resultando em uma probabilidade de ocorrência de aproximadamente 74%. Em seguida foi o sistema SSP, nas quais 327 vezes atingiu a primeira colocação, com uma probabilidade de ocorrência de aproximadamente 26%. Isto significa que, independentemente da combinação de pesos utilizados, a probabilidade do sistema RLP ser classificado como a melhor opção é quase 3 vezes maior que a ocorrência do sistema SSP.

Em relação à ocorrência de vantagem aceitável do RLP sobre os outros sistemas, das 921 vezes em que obteve a primeira colocação, em 809 foi aceitando a primeira condição (87,8%), com vantagem aceitável sobre os outros sistemas e o restante com estabilidade aceitável. Já no caso do SSP, das 327 vezes que foi o melhor sistema, em todas as situações a primeira condição negada, sendo aceito somente pela segunda condição (estabilidade aceitável) sobre o segundo colocado. Isto significa que, em aproximadamente 88% das vezes que o sistema RLP esteve na primeira colocação, foi em razão de um desempenho muito superior às outras alternativas. Nas outras 327 vezes que o RLP obteve a primeira posição, o seu desempenho foi próximo aos segundos colocados, os sistemas SSP e SPF.

Na terceira situação, de maximização de um indicador, o objetivo foi avaliar se caso um indicador prevalecesse sobre os demais, isso alteraria a ordem de classificação dos sistemas. Dessa forma, todos os indicadores foram maximizados individualmente,

atribuindo um peso de 50% do total da categoria e o restante dividido de forma igualitária entre os demais indicadores da categoria. Posteriormente, determinou-se a hierarquização das alternativas com o método VIKOR (Tabela 13).

Tabela 13 – Hierarquização dos sistemas a partir da maximização individual dos indicadores.

Indicador priorizado	REF	SSP	SPF	RLP	Condição
1 Geração de postos de trabalho	4	3	1	2	Estabilidade aceitável
2 Remuneração dos trabalhadores	4	3	2	1	Vantagem aceitável
3 Qualificação de mão de obra	4	3	2	1	Estabilidade aceitável
4 Partes interessadas	4	3	2	1	Vantagem aceitável
5 Complexidade do sistema	3	2	4	1	Vantagem aceitável
6 Custo de produção	3	2	4	1	Vantagem aceitável
7 Lucro operacional	4	2	3	1	Vantagem aceitável
8 Retorno sobre o investimento	4	3	2	1	Estabilidade aceitável
9 Disponibilidade de linhas de crédito e taxa de juros subsidiadas	4	3	2	1	Vantagem aceitável
10 Toxicidade humana total	4	3	2	1	Vantagem aceitável
11 Mudanças climáticas - GWP 100a	4	3	2	1	Vantagem aceitável
12 Potencial de acidificação	2	3	4	1	Vantagem aceitável
13 Potencial de eutrofização	3	2	4	1	Vantagem aceitável
14 Ocupação da terra	4	3	2	1	Vantagem aceitável

Analisando os resultados, observa-se que somente para o indicador 1 o sistema RLP não esteve na primeira colocação, sendo esta obtida pelo sistema SPF, com estabilidade aceitável. A explicação é que, além do sistema SPF ter a melhor pontuação para este indicador (7,84), este também é o único no qual o sistema RLP teve a pior pontuação entre todos os sistemas, afetando seu desempenho. Contudo, entre os 13 indicadores restantes, o sistema RLP possuiu vantagem aceitável para 11 indicadores, sendo que para os indicadores 3 e 8 a primeira colocação foi obtida por estabilidade aceitável sobre o segundo colocado, o sistema SPF.

Ademais, a maximização de indicadores afetou o desempenho entre os sistemas SPF e SSP. Como o sistema SPF foi o melhor no ranking pelo indicador Si no método VIKOR, a maximização dos indicadores proporciona um aumento no desvio sobre o sistema SPF. No entanto, percebe-se que o sistema SSP é mais estável que o sistema SPF, com colocações entre segundo e terceiro lugar na hierarquização, enquanto que o SPF esteve em todas as colocações possíveis.

4. DISCUSSÃO

O uso de modelos de análise de desempenho de produtos, estruturados sobre o pensamento do ciclo de vida geralmente são adaptados às condições específicas de cada situação, utilizando diferentes abordagens de unidade funcional, escopo e métodos de atribuição de impacto, por exemplo. Isto inviabiliza uma comparação direta de resultados com outros estudos, sendo necessário precaução para comparação (COSTA et al., 2018; FLORINDO et al., 2017a). Ademais, até o momento, há o conhecimento de apenas dois estudos que utilizaram metodologias baseados no ciclo de vida avaliando a sustentabilidade na bovinocultura, mas diferindo-se do modelo (UF e objetivos) utilizados neste estudo. Estes referem-se a uma comparação de sistemas integrados de produção no cerrado brasileiro, utilizando o modelo AgBalanceTM (COSTA et al., 2018) e para produção de gado leiteiro da Irlanda (CHEN; HOLDEN, 2018).

Da mesma forma, a principal unidade funcional utilizada para avaliações de impacto na produção de carne bovina é a entrega de 1 kg de peso vivo animal pronto para abate no portão da fazenda (FLORINDO et al., 2017a; WILLERS et al., 2017; RUVIARO et al., 2016) ou 1 kg de peso vivo de carcaça (BOGAERTS et al., 2017; CEDERBERG et al., 2011). Contudo, quando se comparam critérios econômicos, ambientais e sociais, esta medida pode não refletir uma correlação adequada dos impactos, por não abranger ganhos de produção por área, principalmente para os critérios econômicos. Por esse motivo, utilizou-se como unidade funcional deste estudo 1 kg de peso vivo animal pronto para o abate produzido por hectare/ ano.

No entanto, alguns indicadores podem ser comparados individualmente com outras pesquisas, por haver condições semelhantes na aplicação. Avaliando o critério ambiental, os resultados obtidos no presente estudo para potencial de mudanças climáticas variaram entre 12,78 a 16,71 kg de CO₂-Eq, semelhantes a estudos realizados no Brasil por outros pesquisadores, sendo de 18,7 CO₂-Eq (PASHAEI KAMALI et al., 2016), 9,4 a 18,5 CO₂-Eq (DE FIGUEIREDO et al., 2017) e 18,2 a 22,35 CO₂-Eq (BOGAERTS et al., 2017).

Contudo, cabe ressaltar que neste estudo utilizou-se o fator de caracterização do IPCC AR-5, ocasionando uma maior contribuição para a fermentação entérica, devido ao maior fator de caracterização de CH₄ (28,5 kg de CO₂-Eq) quando comparado ao IPCC AR-4 (25 kg de CO₂-Eq). Em relação ao potencial de acidificação, os valores obtidos neste estudo variaram entre 0,0028 a 0,0081 kg SO₂-Eq para os sistemas RLP e SPF

respectivamente, semelhante aos dados encontrados por Dick; Abreu da Silva e Dewes (2015), de acordo com o qual variaram entre 0,0028 a 0,0038 kg SO₂-Eq para sistemas de produção em pastagens naturais na região Sul do Brasil. Porém, os valores são bem inferiores ao encontrado por Willers et al. (2017), de 0,039 kg SO₂-Eq, o que pode ser explicado pela utilização de um método de atribuição de impacto distinto.

Já para o potencial de eutrofização, os valores variaram entre 0,0018 kg P-Eq para o sistema REF, menos intensivo, a 0,0041 kg P-Eq para o sistema RLP, mais intensivo, valores próximos aos encontrados por Dick; Abreu da Silva e Dewes (2015), contudo em ordem inversa. Os autores obtiveram 0,00219 kg P-Eq para o sistema mais intensivo e 0,00383 kg P-Eq para o menos intensivo. Essa diferença pode ser explicada por questões de produtividade entre os sistemas e, principalmente, pela dependência de uso de combustíveis fósseis e fertilizantes.

Já o indicador de ocupação de terra calculado neste estudo variou entre 24,83 m² (RLP) a 86,17 m² (REF) para obtenção de uma unidade funcional. Pashaei Kamali et al. (2016) obtiveram valores de 37 m² para sistemas integrados e até 209,9 m² para sistemas extensivos, ambos os casos na região sul do Brasil. Isto demonstra a importância dos sistemas integrados, que proporcionam maior eficiência sobre o uso da terra ao longo do ano, refletindo em uma menor necessidade de área para obtenção da UF (BRAGAGLIO et al., 2018).

Considerando os indicadores econômicos, o sistema RLP possui os menores custos de produção por UF, o que segundo Costa et al. (2018) ocorre devido a menor necessidade de implementação e manutenção, quando comparados a sistemas convencionais. Já sobre o lucro operacional, resultados semelhantes foram obtidos por Pashaei Kamali et al. (2016), para os quais os sistemas com rotação de culturas com resíduos de lavouras tiveram valores superiores aos de sistemas exclusivos de pasto, menos intensivos.

No mesmo sentido, houve uma correlação direta nos resultados com os apontados por Florindo et al. (2017b), onde o abate mais precoce dos animais refletiu em maior rentabilidade para os sistemas. Ademais, a baixa lucratividade de sistemas extensivos induz os produtores a utilizarem carga animal por hectare acima do suportado buscando compensar a baixa lucratividade, causando subrepastoreio e, na maioria das vezes, resultando na degradação da pastagem (DE FIGUEIREDO et al., 2017).

Nos indicadores sociais, nota-se uma diferença significativa quando comparados com os resultados obtidos por Costa et al. (2018), para os quais a maior integração de

culturas nos sistemas refletiu em melhor desempenho para todas as características sociais. Além da utilização de indicadores sociais distintos para avaliação, esta diferença pode ser explicada pelo fato de que no sistema RLP avaliado neste estudo, a fase agrícola é realizada por rotação de culturas ao invés de integração conforme avaliado por Costa et al. (2018). Assim, esta atividade é realizada por outro produtor, fora do escopo deste estudo, no qual o foco era especificamente a produção de carne bovina. Provavelmente, caso a fase agrícola não fosse terceirizada e realizada de forma integrada com a pecuária, os resultados seriam semelhantes aos obtidos por Costa et al. (2018).

Analisando de forma individual os critérios ambientais, econômico e social, hierarquizando os sistemas com o modelo VIKOR e dividindo os pesos igualmente para os indicadores, os sistemas SSP e SPF obtiveram desempenhos semelhantes em todos os critérios, prevalecendo o sistema SSP em todos eles. O sistema REF obteve o pior desempenho em todos os critérios, enquanto que o sistema RLP teve desempenho muito superior para os critérios ambiental e econômico e inferior aos sistemas SSP e SPF para o critério social (Figura 8).

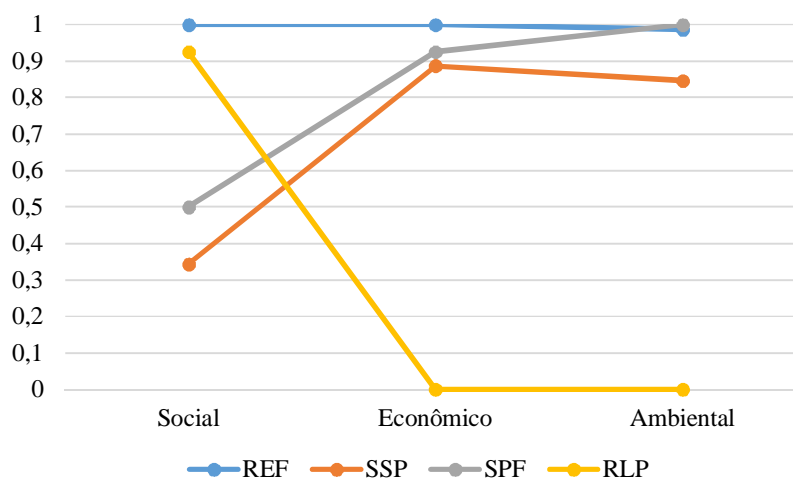


Figura 8 – Desempenho de cada sistema por critério avaliado.

Os métodos estruturados sobre o pensamento de ciclo de vida geram dados de diferentes categorias de avaliação, sendo difícil uma avaliação dos interessados para julgar qual a melhor alternativa (REN; TONIOLO, 2018). Além disto, técnicas de normalização e ponderação possuem grande impacto nos resultados finais das avaliações (MYLLYVIITA; LESKINEN; SEPPÄLÄ, 2014) além de o método de ponderação poder ser influenciado diferentes ideologias e pontos de vista da sociedade (REN; TONIOLO,

2018). Dessa forma, o modelo de ponderação utilizado nessa pesquisa, utilizando teoria da probabilidade demonstrou-se estável no processo de tomada de decisão, isentando-se de possíveis influências na ponderação, reduzindo as incertezas nos resultados. Além disto, o modelo proposto permitiu uma análise de risco estruturada sobre as diferentes combinações de ponderação, que combinado com método VIKOR, possibilitou uma análise clara considerando suas condições de classificação, entre vantagem aceitável e estabilidade aceitável.

Considerando o resultado global da avaliação, os resultados obtidos nesse estudo foram semelhantes aos encontrados por Costa et al. (2018), mesmo com diferenças significativas para a avaliação social, onde o pior desempenho foi obtido pelo sistema convencional e o melhor desempenho para o sistema com maior integração de culturas. Ademais, sistemas com integração entre as culturas e rotação de culturas destacam-se como boa opção para o gerenciamento de terra, possibilitando recuperação de áreas degradadas, além de permitir a produção de grãos sem afetar a produção de carne bovina, quando comparado com sistemas convencionais (DE FIGUEIREDO et al., 2017).

Nessa perspectiva, comparando os resultados desse estudo, o sistema RLP superou em aproximadamente 68% a produção de carne bovina quando comparado ao sistema REF, utilizando a metade da área disponível, com o restante da área disponível para a produção de grãos. No entanto, mesmo com os altos rendimentos e lucro líquido desses sistemas, as taxas de adoção ainda são consideradas baixas, uma vez que os custos de manutenção e implementação são muitos superiores aos sistemas tradicionais de produção (ESTEVEES et al., 2018).

Desta forma, a integração por rotação de culturas, com terceirização da fase agrícola por arrendamento para outro produtor especializado pode resultar em menor desempenho de sustentabilidade quando comparado a um sistema totalmente dependente do produtor rural. Como no caso da sucessão de plantio de soja, milho e forrageiras, pastejo de bovinos e novamente plantio de soja. Por outro lado, pode facilitar a adesão dos produtores, devido a menores custos e conhecimento necessário para adoção, sendo um caminho para uma maior integração entre as culturas.

5. CONCLUSÃO

Este estudo apresentou uma abordagem holística para avaliação da sustentabilidade da fase agrícola da produção de carne bovina, combinando metodologias baseadas no pensamento do ciclo de vida com métodos de tomada de decisão multicritério e ponderação probabilística. A partir desta combinação, foi possível o ranqueamento dos sistemas de produção avaliados em uma pontuação única, considerando os diferentes critérios, apontando o sistema com rotação lavoura-pecuária como a melhor estratégia para minimizar os impactos ambientais e maximizar o desempenho dos indicadores sociais e econômicos.

No entanto, os resultados desse estudo destacaram a importância de considerar diferentes perspectivas além da avaliação do ciclo de vida ambiental, exemplificando o caso específico do sistema com pastagem fertilizada e suplementação proteica (SPF), onde obteve as piores pontuações para os critérios ambientais, desempenho acima da média para os critérios econômicos e a melhor pontuação para os critérios sociais. Nesta perspectiva, a aplicação da teoria dos conjuntos *fuzzy* e método VIKOR se mostraram adequados para a integração dos indicadores e ranqueamento dos sistemas.

A utilização da ponderação probabilística para os critérios ambientais, econômicos e sociais demonstrou-se uma opção eficiente e estável para a integração das variáveis em um ranking único, reduzindo o risco de incerteza sobre o julgamento humano para ponderação dos critérios. Além disto, possibilitou a determinação de qual a probabilidade de determinada alternativa ser considerada como a melhor opção para melhorar a eficiência da sustentabilidade independentemente dos critérios adotados. Em uma perspectiva futura, é esperado o desenvolvimento de pesquisas para a determinação de diferentes indicadores sociais, indicadores que integrem serviços ecossistêmicos relacionados a atividade, biodiversidade e bem-estar animal, aumentando a abrangência da análise.

6. REFERÊNCIAS

ABNT - ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR ISO 14040:2009, Gestão Ambiental: Avaliação do Ciclo de Vida: Requisitos e**

Orientações. Rio de Janeiro, 2009. 46p.

ALESSANDRI, T. M. et al. Managing risk and uncertainty in complex capital projects. **The Quarterly Review of Economics and Finance**, Champaign, v. 44, n. 5, p. 751–767, 2004. Disponível em:

<<https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S1062976904000717>>. Acesso em: 3 maio. 2018.

BOGAERTS, M. et al. Climate change mitigation through intensified pasture management: Estimating greenhouse gas emissions on cattle farms in the Brazilian Amazon. **Journal of Cleaner Production**, [Amsterdam], v. 162, p. 1539–1550, 2017. Disponível em:

<<https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0959652617313008>>. Acesso em: 18 mar. 2018.

BRAGAGLIO, A. et al. Environmental impacts of Italian beef production: A comparison between different systems. **Journal of Cleaner Production**, [Amsterdam], v. 172, p. 4033–4043, 2018. Disponível em:

<<https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0959652617305139>>. Acesso em: 18 mar. 2018.

CEDERBERG, C. et al. Including Carbon Emissions from Deforestation in the Carbon Footprint of Brazilian Beef. **Environmental Science & Technology**, Easton, v. 45, n. 5, p. 1773–1779, 2011. Disponível em:

<<http://www.ncbi.nlm.nih.gov/pubmed/21280649>>. Acesso em: 18 mar. 2018.

CINELLI, M.; COLES, S. R.; KIRWAN, K. Analysis of the potentials of multi criteria decision analysis methods to conduct sustainability assessment. **Ecological Indicators**, [Germany], v. 46, n. Supplement C, p. 138–148, 2014. Disponível em:

<<http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S1470160X14002647>> Acesso em: 12 jan. 2017.

CLIMATE DATA. **Clima:** Navirai: Climograma, Temperatura e Tabela climática Navirai - Climate-Data.org. 2018. Disponível em: <<https://pt.climate-data.org/location/31817/>>. Acesso em: 18 mar. 2018.

COSTA, M. P. et al. A socio-eco-efficiency analysis of integrated and non-integrated

crop-livestock-forestry systems in the Brazilian Cerrado based on LCA. **Journal of Cleaner Production**, [Amsterdam], v. 171, p. 1460–1471, 2018. Disponível em: <<https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0959652617323569>>. Acesso em: 18 mar. 2018.

DE FIGUEIREDO, E. B. et al. Greenhouse gas balance and carbon footprint of beef cattle in three contrasting pasture-management systems in Brazil. **Journal of Cleaner Production**, [Amsterdam], v. 142, p. 420–431, 2017. Disponível em: <<https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0959652616302049>>. Acesso em: 18 mar. 2018.

DE LUCA, A. I. et al. Life cycle tools combined with multi-criteria and participatory methods for agricultural sustainability: Insights from a systematic and critical review. **Science of The Total Environment**, Amsterdam, v. 595, p. 352–370, 2017. Disponível em: <<http://www.ncbi.nlm.nih.gov/pubmed/28395257>>. Acesso em: 18 mar. 2018.

DE LUCA, A. I. et al. Evaluation of sustainable innovations in olive growing systems: A Life Cycle Sustainability Assessment case study in southern Italy. **Journal of Cleaner Production**, [Amsterdam], v. 171, p. 1187–1202, 2018. Disponível em: <<https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0959652617324186>>. Acesso em: 18 mar. 2018.

DICK, M.; DA SILVA, M. A.; DEWES, H. Life cycle assessment of beef cattle production in two typical grassland systems of southern Brazil. **Journal of Cleaner Production**, [Amsterdam], v. 96, n. Supplement C, p. 426–434, 2015. Disponível em: <<http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0959652614001061>> Acesso em: 10 jan. 2017.

EGGLESTON, H. S. et al. (Ed.). **IPCC guidelines for national greenhouse gas inventories**. Hayama, Japan: Institute for Global Environmental Strategies, 2008.

ESTEVEZ, E. M. M. et al. Greenhouse gas emissions related to biodiesel from traditional soybean farming compared to integrated crop-livestock systems. **Journal of Cleaner Production**, [Amsterdam], v. 179, p. 81–92, 2018. Disponível em: <<https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0959652617332560>>. Acesso em: 18 mar. 2018.

FALCONE, G. et al. Assessment of Environmental and Economic Impacts of Vine-Growing Combining Life Cycle Assessment, Life Cycle Costing and Multicriterial Analysis. **Sustainability**, Basel, v. 8, n. 12, p. 793, 2016. Disponível em: <<http://www.mdpi.com/2071-1050/8/8/793>>. Acesso em: 18 mar. 2018.

FÁVERO, P. B. **Estatística Aplicada a Administração, Contabilidade e Economia**. São Paulo: Elsevier, 2015.

FLORINDO, T. J. et al. Carbon footprint and Life Cycle Costing of beef cattle in the Brazilian midwest. **Journal of Cleaner Production**, [Amsterdam], v. 147, n. Supplement C, p. 119–129, 2017. a. Disponível em: <<http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0959652617300288>> Acesso em: 15 mar. 2017.

FLORINDO, T. J. et al. Improving feed efficiency as a strategy to reduce beef carbon footprint in the Brazilian Midwest region. **International Journal of Environment and Sustainable Development**, Olney, v. 16, n. 4, p. 379, 2017b. Disponível em: <<http://www.inderscience.com/link.php?id=10007706>> Acesso em: 10 set. 2017.

GERBER, P. J. et al. **Tackling climate change through livestock: a global assessment of emissions and mitigation opportunities**. Rome: Food and Agriculture Organization of the United Nations (FAO), 2013.

GLORIA, T. et al. Charting the Future of Life Cycle Sustainability Assessment: A Special Issue. **Journal of Industrial Ecology**, Cambridge, v. 21, n. 6, p. 1449–1453, 2017. Disponível em: <<http://doi.wiley.com/10.1111/jiec.12711>>. Acesso em: 18 mar. 2018.

GRUBERT, E. The Need for a Preference-Based Multicriteria Prioritization Framework in Life Cycle Sustainability Assessment. **Journal of Industrial Ecology**, Cambridge, v. 21, n. 6, p. 1522–1535, 2017. Disponível em: <<http://doi.wiley.com/10.1111/jiec.12631>>. Acesso em: 18 mar. 2018.

GUINÉE, J. B. et al. Life Cycle Assessment: Past, Present, and Future †. **Environmental Science & Technology**, [s. l.], v. 45, n. 1, p. 90–96, 2011. Disponível em: <<http://pubs.acs.org/doi/abs/10.1021/es101316v>>. Acesso em: 2 abr. 2018.

HUIJBREGTS, M. A. J. et al. Cumulative Energy Demand As Predictor for the

Environmental Burden of Commodity Production. **Environmental Science & Technology**, Easton, v. 44, n. 6, p. 2189–2196, 2010. Disponível em: <<http://www.ncbi.nlm.nih.gov/pubmed/20108964>>. Acesso em: 18 mar. 2018.

IBGE - INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA. **Municípios: pecuária**. 2016. Disponível em: <<https://cidades.ibge.gov.br/brasil/ms/navirai/pesquisa/18/16459>>. Acesso em: 18 nov. 2017.

IEG | FNP. **Custo da Formação/Reforma de Pastagens - 2017 (R\$/ha)**. 2017b. Disponível em: <<http://www.informaecon-fnp.com/>>. Acesso em: 18 mar. 2018.

KALBAR, P. P. et al. Weighting and Aggregation in Life Cycle Assessment: Do Present Aggregated Single Scores Provide Correct Decision Support? **Journal of Industrial Ecology**, Cambridge, v. 21, n. 6, p. 1591–1600, 2017. Disponível em: <<http://doi.wiley.com/10.1111/jiec.12520>>. Acesso em: 18 mar. 2018.

MATO GROSSO DO SUL. Decreto n.14.424 de 08/03/2016. Institui o Programa de Estímulo à Exportação ou à Importação pelos Portos do Rio Paraguai (PROEXPRP). **Diário Oficial [do] Estado do Mato Grosso do Sul**, Campo Grande, 08/03/2016, p. 2–3.

MYHRE, G. et al. Anthropogenic and natural radiative forcing. In: STOCKER, T.F. et al. (Ed.). **Climate change 2013: the physical science basis**. Contribution of working group I to the fifth assessment report of the intergovernmental panel on climate change. Cambridge: Cambridge University Press, 2013. p. 658–740.

MYLLYVIITA, T.; LESKINEN, P.; SEPPÄLÄ, J. Impact of normalisation, elicitation technique and background information on panel weighting results in life cycle assessment. **The International Journal of Life Cycle Assessment**, Landsberg, v. 19, n. 2, p. 377–386, 2014. Disponível em: <<http://link.springer.com/10.1007/s11367-013-0645-6>>. Acesso em: 18 mar. 2018.

PASHAEI KAMALI, F. et al. Environmental and economic performance of beef farming systems with different feeding strategies in southern Brazil. **Agricultural Systems**, Essex, v. 146, p. 70–79, 2016. Disponível em: <<https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0308521X16300634>>. Acesso em:

18 mar. 2018.

REN, J. et al. Prioritization of bioethanol production pathways in China based on life cycle sustainability assessment and multicriteria decision-making. **The International Journal of Life Cycle Assessment**, Landsberg, v. 20, n. 6, p. 842–853, 2015.

Disponível em: <<http://link.springer.com/10.1007/s11367-015-0877-8>>. Acesso em: 2 abr. 2018.

REN, J.; TONIOLO, S. Life cycle sustainability decision-support framework for ranking of hydrogen production pathways under uncertainties: An interval multi-criteria decision making approach. **Journal of Cleaner Production**, [Amsterdam], v. 175, p. 222–236, 2018. Disponível em:

<<https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0959652617330056>>. Acesso em: 18 mar. 2018.

ROSTAMZADEH, R. et al. Application of fuzzy VIKOR for evaluation of green supply chain management practices. **Ecological Indicators**, [Germany], v. 49, p. 188–203, 2015. Disponível em:

<<https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S1470160X14004774>>. Acesso em: 3 maio. 2018.

RUVIARO, C. F. et al. Carbon footprint in different beef production systems on a southern Brazilian farm: a case study. **Journal of Cleaner Production**, [Amsterdam], v. 96, n. Supplement C, p. 435–443, 2015. Disponível em:

<<http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S095965261400050X>> Acesso em: 10 de fev. 2017.

RUVIARO, C. F. et al. Economic and environmental feasibility of beef production in different feed management systems in the Pampa biome, southern Brazil. **Ecological Indicators**, [Germany], v. 60, n. Supplement C, p. 930–939, 2016. Disponível em:

<<http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S1470160X15004744>> Acesso em: 10 fev. 2017.

STEINFELD, H. et al. **Livestock's long shadow: environmental issues and options**. Rome : FAO, 2006.

TZENG, G.-H.; HUANG, J.-J. **Multiple attribute decision making: methods and**

applications. Boca Raton : CRC press, 2011.

USDA. **Livestock and Poultry: World Markets and Trade** China's Meat and Poultry Import Forecast 2018: Decline and Constrained Growth. 2017. Disponível em: <https://apps.fas.usda.gov/psdonline/circulars/livestock_poultry.pdf>. Acesso em: 18 mar. 2018.

WILLERS, C. D. et al. Environmental Impact assessment of a semi-intensive beef cattle production in Brazil's Northeast. **The International Journal of Life Cycle Assessment**, Landsberg, v. 22, n. 4, p. 516–524, 2017. Disponível em: <<http://link.springer.com/10.1007/s11367-016-1062-4>>. Acesso em: 18 mar. 2018.

CAPÍTULO VI

1. CONCLUSÃO GERAL

O objetivo desta pesquisa foi avaliar a sustentabilidade de possíveis ações de melhoria, a partir da aplicação conjunta da ASCV, métodos MCDM e ponderação probabilística para minimizar a pegada de carbono das exportações de carne bovina brasileira. Assim, avaliou-se a pegada de carbono da cadeia de produção de carne bovina brasileira para exportação, considerando desde a fase de produção agrícola, na região sul do estado de Mato Grosso do Sul até a entrega em três possíveis destinos: Roterdã (Holanda), Xangai (China) e São Petersburgo (Rússia), destacando-se a fase de produção animal com a maior participação dos impactos avaliados, representando aproximadamente 98% do total dos impactos.

Alguns estudos têm relatado possíveis ações para redução das emissões no nível da produção animal, no entanto, em muitas vezes não consideraram questões importantes para os tomadores de decisão, como recursos financeiros necessários para implantação, limitações técnicas e restrições para adoção. Dessa forma, foi identificado possíveis ações de melhorias para a cadeia a partir da ótica de seus interessados, classificadas de acordo com os critérios estabelecidos, apontando que para a fase de produção animal, a fertilização das pastagens e/ou suplementação proteínada poderiam possibilitar aumento da eficiência da produção e conseqüentemente, redução da pegada de carbono. Sistemas integrados com lavoura e pecuária também se demonstraram viáveis em vários critérios, no entanto, possuem maiores restrições de adoção, tanto técnicas como financeiras.

Com o objetivo de uma comparação holística, a sustentabilidade dos sistemas de produção apontado como as melhores ações de melhoria para a fase de produção animal foram comparados utilizado a abordagem de avaliação sustentável do ciclo de vida em conjunto com métodos multicritérios de tomada de decisão. Dessa forma, divergindo do ranqueamento a partir dos interessados, o sistema de integração de lavoura e pecuária, nesse caso específico com rotação anuais de culturas, obteve a melhor classificação a partir do ranqueamento de um indicador único de sustentabilidade. Considerando a pegada de carbono avaliada até o destino das exportações, a substituição da produção animal do sistema de referência avaliado pelo sistema de rotação lavoura pecuária possibilitaria reduzir aproximadamente 7,7 kg de CO₂-Eq., ou seja, 23% do total da pegada de carbono atribuída ao produto, além de combinar a melhor oportunidade de maximização para os demais indicadores ambientais, econômicos e sociais avaliados.

Em linhas gerais, a rotação de culturas possibilitou ganhos ambientais e de produção próximos ao relatados em outras pesquisas no Brasil, mas a terceirização da fase agrícola implica ao produtor menor dispêndio de recursos financeiros e conhecimento sobre as diferentes culturas. Ademais, mesmo que talvez obtenha desempenho inferior individualmente nos critérios avaliados nesse estudo quando comparado a sistemas com maior integração e sucessão de culturas, como plantio de soja, milho e pastejo em sucessão, ou lavoura-pecuária-floresta, destaca-se como uma alternativa eficiente para o avanço da produção animal no caminho da sustentabilidade.

A aplicação de um meio matemático para a ponderação, a partir da teoria da probabilidade demonstrou-se uma alternativa eficiente para a redução da incerteza e risco relatados por pesquisadores sobre a integração de métodos MCDM com ASCV. A ponderação probabilística possibilitou isentar o julgamento humano do processo de ponderação, possibilitando uma avaliação estável além de mensurar qual a probabilidade de determinada alternativa ser classificada como a melhor estratégia a ser adotada. Além disto, combinado com o método VIKOR e seus critérios de desvios para consideração da melhor alternativa possibilitaram classificar se a melhor alternativa possibilitava uma solução ideal ou uma solução estável para o problema.

A partir disto, espera-se que pesquisas futuras possibilitem a identificação de novos indicadores e critérios de avaliação relevantes para a fase de produção animal, buscando uma melhor representação do mundo real, como bem-estar animal, biodiversidade, serviços ecossistêmicos, além da inclusão de mais indicadores ambientais, econômicos e sociais. Isto irá possibilitar o aprofundamento da análise no nível da produção animal, possibilitando a identificação de novos pontos conflitantes e conseqüentemente, a proposta de novas ações de melhorias específicas que possibilitem o aumento da eficiência da cadeia.

2. REFERÊNCIAS

AVADÍ, A. et al. Data strategy for environmental assessment of agricultural regions via LCA: case study of a French catchment. **The International Journal of Life Cycle Assessment**, Landsberg, v. 21, n. 4, p. 476–491, 2016. Disponível em: <<http://link.springer.com/10.1007/s11367-016-1036-6>>. Acesso em: 22 mar. 2018.

BAUER, C. et al. Towards a framework for life cycle thinking in the assessment of nanotechnology. **Journal of Cleaner Production**, [Amsterdam], v. 16, n. 8–9, p. 910–926, 2008. Disponível em:

<<https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0959652607001254>>. Acesso em: 3 maio. 2018.

BOGAERTS, M. et al. Climate change mitigation through intensified pasture management: Estimating greenhouse gas emissions on cattle farms in the Brazilian Amazon. **Journal of Cleaner Production**, [Amsterdam], v. 162, p. 1539–1550, 2017.

Disponível em:

<<https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0959652617313008>>. Acesso em: 18 mar. 2018.

CERRI, C. C. et al. Assessing the carbon footprint of beef cattle in Brazil: a case study with 22 farms in the State of Mato Grosso. **Journal of Cleaner Production**, [Amsterdam], v. 112, p. 2593–2600, 2016. Disponível em:

<<https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0959652615015437>>. Acesso em: 22 mar. 2018.

CHEN, W.; HOLDEN, N. M. Tiered life cycle sustainability assessment applied to a grazing dairy farm. **Journal of Cleaner Production**, [Amsterdam], v. 172, p. 1169–1179, 2018. Disponível em:

<<https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0959652617325684>>. Acesso em: 18 mar. 2018.

CINELLI, M.; COLES, S. R.; KIRWAN, K. Analysis of the potentials of multi criteria decision analysis methods to conduct sustainability assessment. **Ecological Indicators**, [Germany], v. 46, n. Supplement C, p. 138–148, 2014. Disponível em:

<<http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S1470160X14002647>> Acesso em: 12 jan. 2017.

DAS, C.; JHARKHARIA, S. Low carbon supply chain: a state-of-the-art literature review. **Journal of Manufacturing Technology Management**, [Bingley], p. JMTM-09-2017-0188, 2018. Disponível em:

<<http://www.emeraldinsight.com/doi/10.1108/JMTM-09-2017-0188>>. Acesso em: 22 mar. 2018.

DE LUCA, A. I. et al. Life cycle tools combined with multi-criteria and participatory methods for agricultural sustainability: Insights from a systematic and critical review. **Science of The Total Environment**, Amsterdam, v. 595, p. 352–370, 2017. Disponível em: <<http://www.ncbi.nlm.nih.gov/pubmed/28395257>>. Acesso em: 18 mar. 2018.

DE LUCA, A. I. et al. Evaluation of sustainable innovations in olive growing systems: A Life Cycle Sustainability Assessment case study in southern Italy. **Journal of Cleaner Production**, [Amsterdam], v. 171, p. 1187–1202, 2018. Disponível em: <<https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0959652617324186>>. Acesso em: 18 mar. 2018.

DE OLIVEIRA SILVA, R. et al. Sustainable intensification of Brazilian livestock production through optimized pasture restoration. **Agricultural Systems**, Essex, v. 153, p. 201–211, 2017. Disponível em: <<https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0308521X16303845>>. Acesso em: 18 mar. 2018.

DICK, M.; DA SILVA, M. A.; DEWES, H. Life cycle assessment of beef cattle production in two typical grassland systems of southern Brazil. **Journal of Cleaner Production**, [Amsterdam], v. 96, n. Supplement C, p. 426–434, 2015. Disponível em: <<http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0959652614001061>> Acesso em: 10 jan. 2017.

ESTEVEZ, E. M. M. et al. Greenhouse gas emissions related to biodiesel from traditional soybean farming compared to integrated crop-livestock systems. **Journal of Cleaner Production**, [Amsterdam], v. 179, p. 81–92, 2018. Disponível em: <<https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0959652617332560>>. Acesso em: 18 mar. 2018.

FALCONE, G. et al. Assessment of Environmental and Economic Impacts of Vine-Growing Combining Life Cycle Assessment, Life Cycle Costing and Multicriterial Analysis. **Sustainability**, Basel, v. 8, n. 12, p. 793, 2016. Disponível em: <<http://www.mdpi.com/2071-1050/8/8/793>>. Acesso em: 18 mar. 2018.

FERRETTI, F.; SALTELLI, A.; TARANTOLA, S. Trends in sensitivity analysis practice in the last decade. **Science of The Total Environment**, Amsterdam, v. 568, p. 666–670, 2016. Disponível em:

<<https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0048969716303448?via%3Dihub>>.

Acesso em: 22 mar. 2018.

FLORINDO, T. J. et al. Improving feed efficiency as a strategy to reduce beef carbon footprint in the Brazilian Midwest region. **International Journal of Environment and Sustainable Development**, Olney, v. 16, n. 4, p. 379, 2017a. Disponível em:

<<http://www.inderscience.com/link.php?id=10007706>> Acesso em: 10 set. 2017.

FLORINDO, T. J. et al. Carbon footprint and Life Cycle Costing of beef cattle in the Brazilian midwest. **Journal of Cleaner Production**, [Amsterdam], v. 147, n.

Supplement C, p. 119–129, 2017. b. Disponível em:

<<http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0959652617300288>> Acesso em: 15 mar. 2017.

GERBER, P. J. et al. **Tackling climate change through livestock: a global assessment of emissions and mitigation opportunities**. Rome: Food and Agriculture Organization of the United Nations (FAO), 2013.

GLORIA, T. et al. Charting the Future of Life Cycle Sustainability Assessment: A Special Issue. **Journal of Industrial Ecology**, Cambridge, v. 21, n. 6, p. 1449–1453, 2017. Disponível em: <<http://doi.wiley.com/10.1111/jiec.12711>>. Acesso em: 18 mar. 2018.

GRUBERT, E. The Need for a Preference-Based Multicriteria Prioritization Framework in Life Cycle Sustainability Assessment. **Journal of Industrial Ecology**, Cambridge, v. 21, n. 6, p. 1522–1535, 2017. Disponível em:

<<http://doi.wiley.com/10.1111/jiec.12631>>. Acesso em: 18 mar. 2018.

HERRERO, M. et al. Greenhouse gas mitigation potentials in the livestock sector.

Nature Climate Change, London, v. 6, n. 5, p. 452–461, 2016. Disponível em:

<<http://www.nature.com/articles/nclimate2925>>. Acesso em: 22 mar. 2018.

IEG | FNP. **Pecuária brasileira**. 2017. Disponível em: <<http://www.informaecon-fnp.com/>>. Acesso em: 18 mar. 2018.

JOSHI, Y.; RAHMAN, Z. Factors Affecting Green Purchase Behaviour and Future Research Directions. **International Strategic Management Review**, Amsterdam, v. 3, n. 1–2, p. 128–143, 2015. Disponível em:

<<https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S2306774815000034>>. Acesso em: 22 mar. 2018.

KALBAR, P. P. et al. Weighting and Aggregation in Life Cycle Assessment: Do Present Aggregated Single Scores Provide Correct Decision Support? **Journal of Industrial Ecology**, Cambridge, v. 21, n. 6, p. 1591–1600, 2017. Disponível em: <<http://doi.wiley.com/10.1111/jiec.12520>>. Acesso em: 18 mar. 2018.

MAIA DE SOUZA, D. et al. A Review of Sustainability Enhancements in the Beef Value Chain: State-of-the-Art and Recommendations for Future Improvements. **Animals**, Basel, v. 7, n. 12, p. 26, 2017. Disponível em: <<http://www.ncbi.nlm.nih.gov/pubmed/28327500>>. Acesso em: 22 mar. 2018.

MARTINS, A. P. et al. Short-term Impacts on Soil-quality Assessment in Alternative Land Uses of Traditional Paddy Fields in Southern Brazil. **Land Degradation & Development**, Chichester, v. 28, n. 2, p. 534–542, 2017. Disponível em: <<http://doi.wiley.com/10.1002/ldr.2640>>. Acesso em: 22 mar. 2018.

NEUGEBAUER, S. et al. Enhancing the practical implementation of life cycle sustainability assessment – proposal of a Tiered approach. **Journal of Cleaner Production**, [Amsterdam], v. 102, p. 165–176, 2015. Disponível em: <<https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0959652615004217>>. Acesso em: 22 mar. 2018.

PASHAEI KAMALI, F. et al. Environmental and economic performance of beef farming systems with different feeding strategies in southern Brazil. **Agricultural Systems**, Essex, v. 146, p. 70–79, 2016. Disponível em: <<https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0308521X16300634>>. Acesso em: 18 mar. 2018.

PAYANDEH, Z. et al. Joint data envelopment analysis and life cycle assessment for environmental impact reduction in broiler production systems. **Energy**, Oxford, v. 127, p. 768–774, 2017. Disponível em: <<https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0360544217305042>>. Acesso em: 22 mar. 2018.

REN, J.; TONIOLO, S. Life cycle sustainability decision-support framework for

ranking of hydrogen production pathways under uncertainties: An interval multi-criteria decision making approach. **Journal of Cleaner Production**, [Amsterdam], v. 175, p. 222–236, 2018. Disponível em:

<<https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0959652617330056>>. Acesso em: 18 mar. 2018.

RUVIARO, C. F. et al. Carbon footprint in different beef production systems on a southern Brazilian farm: a case study. **Journal of Cleaner Production**, [Amsterdam], v. 96, n. Supplement C, p. 435–443, 2015. Disponível em:

<<http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S095965261400050X>> Acesso em: 10 de fev. 2017.

SALA, S.; CIUFFO, B.; NIJKAMP, P. A systemic framework for sustainability assessment. **Ecological Economics**, Amsterdam, v. 119, p. 314–325, 2015. Disponível em: <<https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0921800915003821>>. Acesso em: 22 mar. 2018.

SOYSAL, M.; BLOEMHOF-RUWAARD, J. M.; VAN DER VORST, J. G. A. J. Modelling food logistics networks with emission considerations: The case of an international beef supply chain. **International Journal of Production Economics**, Amsterdam, v. 152, p. 57–70, 2014. Disponível em:

<<https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0925527313005719>>. Acesso em: 22 mar. 2018.

STRASSBURG, B. B. N. et al. When enough should be enough: Improving the use of current agricultural lands could meet production demands and spare natural habitats in Brazil. **Global Environmental Change**, Guildford, v. 28, p. 84–97, 2014. Disponível em: <<https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0959378014001046>>. Acesso em: 22 mar. 2018.

USDA. **Livestock and Poultry: World Markets and Trade China's Meat and Poultry Import Forecast 2018: Decline and Constrained Growth**. 2017. Disponível em: <https://apps.fas.usda.gov/psdonline/circulars/livestock_poultry.pdf>. Acesso em: 18 mar. 2018.

WIEDEMANN, S. et al. Environmental impacts and resource use of Australian beef and lamb exported to the USA determined using life cycle assessment. **Journal of Cleaner**

Production, [Amsterdam], v. 94, p. 67–75, 2015. b. Disponível em:

<<https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0959652615000773>>. Acesso em: 22 mar. 2018.

WILLERS, C. D. et al. Environmental Impact assessment of a semi-intensive beef cattle production in Brazil's Northeast. **The International Journal of Life Cycle**

Assessment, Landsberg, v. 22, n. 4, p. 516–524, 2017. Disponível em:

<<http://link.springer.com/10.1007/s11367-016-1062-4>>. Acesso em: 18 mar. 2018.

CAPÍTULO VII

APÊNDICE 1 – Parâmetros adicionais de informações de entrada e saída dos sistemas para modelagem dos sistemas.

Parâmetros dos sistemas	REF	SSP	SPF	RLP
Carga média anual por hectare, kg peso vivo	368,85	402,78	803,42	991,49
Idade de abate - bois, meses	42,00	36,00	28,00	28,00
Idade de abate - novilhas, meses	30,00	24,00	24,00	24,00
Idade de inseminação das novilhas, meses	30,00	24,00	24,00	24,00
Desfrute anual do sistema, kg de peso vivo	91.540,00	118.160,00	248.640,00	153.844,88
Desfrute anual do sistema por hectare, kg de peso vivo	117,36	151,49	318,77	394,47
Pastagem, nutrientes digestíveis totais da pastagem, %*	55,10	55,10	59,50	59,50
Pastagem, proteína bruta, %*	7,65	7,65	10,60	10,60
Suplementação proteinada, NDT, %	-	36,00	36,00	36,00
Suplementação proteinada, PB, %	-	35,00	35,00	35,00
Número de funcionários, capataz	1,00	1,00	1,00	1,00
Número de funcionários, serviços gerais	2,00	2,00	5,00	2,00
Despesas com pessoal (com tributos), mês	7.700,00	7.700,00	14.000,00	7.700,00

Valores de nutrientes digestíveis totais e proteína foram determinados utilizando o software Invernada, fornecido pela Embrapa.

APÊNDICE 2 - Custos de reprodução dos sistemas avaliados.

Descrição	Vacas	Novilhas	Custo de medicamento R\$ x animal	Custo sêmen	Veterinário	Custo total por animal	Total
Pastagem	240	60	17,00	16,00	15,00	48,00	14.400,00
Proteinado	307	76	17,00	16,00	15,00	48,00	18.384,00
Fertilizantes	611	152	17,00	16,00	15,00	48,00	36.624,00
RLP	382	96	17,00	16,00	15,00	48,00	22.920,00

APÊNDICE 3 - Desfrute dos sistemas avaliados (em quilos de peso vivo).

Classe animal	REF			SSP			SPF			RLP		
	Número de animais	Peso médio	Total	Número de animais	Peso médio	Total	Número de animais	Peso médio	Total	Número de animais	Peso médio	Total
Bois	106	520,00	55120	137	520	71240	275	520	143000	173	520	89886
Novilhas	47	300,00	14100	61	300	18300	123	350	43050	77	350	27075
Vacas descarte	60	355,00	21300	76	380	28880	152	420	63840	96	420	40110
Total	213	-	90520	274	-	118420	550	-	249890	346	-	157071

APÊNDICE 4 - Custo de suplementação animal.

Descrição	Custo por unidade	REF		SSP		SPF		RLP	
		Quantidade	Total	Quantidade	Total	Quantidade	Total	Quantidade	Total
Suplemento mineral 85 (kg)	1,93	10.445,06	20.193,78	8.625,50	16.675,97	19.423,68	37.552,45	12.167,06	23.522,99
Suplemento mineral 65 (kg)	1,63	10.041,52	16.401,14	6.274,87	10.248,96	10.444,00	17.058,53	6.553,17	10.703,51
Suplemento mineral 35% PB (kg)	1,40	-	-	42.683,37	59.756,72	77.780,42	108.892,58	48.750,61	68.250,85
Transporte interno (hora/ trator)	45,15	28,00	1.264,20	78,00	3.521,70	144,00	6.501,60	88,00	3.973,20
Total			37.859,12		90.203,35		170.005,16		106.450,55

APÊNDICE 5 - Inventário dos sistemas por unidade funcional.

Descrição	Unidade	REF	SSP	SPF	RLP
Plantio e reforma de pastagens					
Trator 110 cv	hora/máquina	0,00239	0,00185	0,00091	-
Trator 75 cv	hora/máquina	0,00051	0,00040	0,00019	0,00038
Sementes	kg	0,00767	0,00594	0,00282	0,00570
Calcário	kg	1,70417	1,32024	0,62741	-
Calcário manutenção		-	-	0,94112	-
Super simples	kg	-	-	0,09411	-
Fert. 20-00-20	kg	-	-	0,07843	-
Super simples (manutenção)	kg	-	-	0,15685	-
Fert. 20-00-20 (manutenção)	kg	-	-	0,12548	-
Consumo diesel (tratores)	MJ	1,29543	1,14069	0,64300	0,30853
Suplementação					
Suplemento mineral 85	kg	1,15229	0,07373	0,07891	0,07864
Suplemento mineral 65)	kg	1,15499	0,05448	0,04214	0,04200
Suplemento mineral 35% PB	kg	-	0,36728	0,31524	0,31418
Total sal mineral (LB)		2,30728	0,12821	0,12105	0,12064
Trator 75 cv	hora/máquina	0,00031	0,00066	0,00058	0,00057
Transporte					
Caminhão 12 t (sementes)	km*ton	0,00614	0,00475	0,00226	0,00456
Carreta 40 t (calcário)	km*ton	1,02250	0,79215	0,94112	-
Carreta 40 t (fertilizantes)	km*ton	-	-	0,12373	-
Caminhão 15 t (suplem. Mineral)	km*ton	0,06273	0,13477	0,11867	0,11827
Total Carreta > 32 t	km*ton	1,02250	0,79215	1,06485	-
Total Caminhão 7,5 a 15 T	km*ton	0,06887	0,13953	0,12093	0,12284

APÊNDICE 6 - Custo do rebanho dos sistemas avaliados.

Classe animal	REF			SSP			SPF			RLP			Total
	Carga animal média (kg)	Valor (R\$ x kg de peso vivo)	Total (R\$)	Carga animal média (kg)	Valor (R\$ x kg de peso vivo)	Total (R\$)	Carga animal média (kg)	Valor (R\$ x kg de peso vivo)	Total (R\$)	Carga animal média (kg)	Valor (R\$ x kg de peso vivo)	Total	
Macho com <1 ano	11.330,00	5,91	66.975,37	16.590,00	5,91	98.068,97	39760	5,91	235.034,48	24.918,34	5,91	147.300,52	
Fêmea com <1 ano	9.735,00	5,72	55.720,07	13.020,00	5,72	74.522,37	32760	5,72	187.507,89	20.531,31	5,72	117.514,71	
Macho com 12 - 24 meses	25.812,00	4,38	113.148,49	39.192,00	4,38	171.800,55	96950	4,38	424.986,30	60.804,25	4,38	266.539,19	
Fêmea com 12 - 24 meses	20.952,00	4,05	84.940,54	30.912,00	4,05	125.318,92	76175	4,05	308.817,57	47.774,77	4,05	193.681,50	
Macho com 24- 36 meses	39.911,00	4,20	167.626,20	60.622,50	4,20	254.614,50	44458	4,20	186.725,00	27.945,35	4,20	117.370,45	
Fêmea 24-36 meses	30.388,00	4,23	128.642,53	25.688,00	4,23	108.745,87	58520	4,23	247.734,67	36.767,50	4,23	155.649,08	
Vacas >36 meses	85.200,00	4,23	360.680,00	116.660,00	4,23	493.860,67	256620	4,23	1.086.358,00	160.440,00	4,23	679.196,00	
Macho >36 meses	50.880,00	4,67	237.440,00	-	4,67	-	0	4,67	-	-	4,67	-	
Touros	6.430,00	6,15	39.544,50	7.740,00	6,15	47.601,00	17000	6,15	104.550,00	10.823,33	6,15	66.563,50	
Total	280.638,00	-	1.254.717,70	310.424,50	-	1.374.532,83	622.243,33	-	2.781.713,91	390.004,85	-	1.743.814,96	

APÊNDICE 7 - Custo de formação de pastagens.

Descrição	Custos por hora/ máquina/ hectare	REF		SSP		SPF		RLP	
		Quantidade	Total	Quantidade	Total	Quantidade	Total	Quantidade	Total
Operações mecanizadas (plântio)									
Gradagem aradora	72,78	1,31	95,34	1,31	95,34	1,31	95,34	0,00	0,00
Gradagem intermediária	69,78	0,88	61,41	0,88	61,41	0,88	61,41	0,00	0,00
Gradagem niveladora	67,18	0,54	36,28	0,54	36,28	0,54	36,28	0,00	0,00
Calagem (carregamento)	63,78	0,07	4,46	0,07	4,46	0,07	4,46	0,00	0,00
Calagem (formação)	57,47	0,33	18,97	0,33	18,97	0,33	18,97	0,00	0,00
Fosfatagem (carregamento)	63,78	0,00	0,00	0,00	0,00	0,02	1,28	0,00	0,00
Fosfatagem (formação)	57,47	0,00	0,00	0,00	0,00	0,16	9,20	0,00	0,00
Semeadura (lanço)	57,47	0,13	7,47	0,13	7,47	0,13	7,47	0,13	7,47
Adubação de cobertura	50	0,00	0,00	0,00	0,00	0,16	8,00	0,16	0,00
Transporte de insumos	45,15	0,14	6,32	0,14	6,32	0,14	6,32	0,14	6,32
Total			230,25		230,25		248,72		13,79
Insumos (plântio)									
Sementes ,VC 45% (kg)	25	9	225	9	225	9	225	9	225
Calcário	0,115	2	0,23	2	0,23	2	0,46	0	0
Super simples	1,15	0	0	0	0	300	345	0	0
Fert. 20-00-20	1,4	0	0	0	0	250	350	0	0
Total			225,23		225,23		920,46		225
Operações mecanizadas (manutenção)									
Calagem (carregamento)	63,78	0	0	0	0	0,07	4,46	0	0
Calagem (formação)	57,47	0	0	0	0	0,33	18,97	0	0
Fertilizantes (carregamento)	63,78	0	0	0	0	0,02	1,28	0	0
Adubação (manutenção)	50	0	0	0	0	0,16	8,00	0	0
Total			0		0		32,71		0
Manutenção anual									
Calcário	0,115	0	0	0	0,00	500	57,5	0	0
Super simples	1,15	0	0	0	0	250	287,5	0	0
Fert. 20-00-20	1,4	0	0	0	0	200	280	0	0
Total			0		0		625		0

APÊNDICE 8 – Possibilidade de combinações (Nº) de pesos para os critérios sociais (S), econômicos (E) e ambientais (A)

Nº	S	E	A
1	1	49	50
2	2	48	50
3	3	47	50
4	3	48	49
5	4	46	50
6	4	47	49
7	5	45	50
8	5	46	49
9	5	47	48
10	6	44	50
11	6	45	49
12	6	46	48
13	7	43	50
14	7	44	49
15	7	45	48
16	7	46	47
17	8	42	50
18	8	43	49
19	8	44	48
20	8	45	47
21	9	41	50
22	9	42	49
23	9	43	48
24	9	44	47
25	9	45	46
26	10	40	50
27	10	41	49
28	10	42	48
29	10	43	47
30	10	44	46
31	11	39	50
32	11	40	49
33	11	41	48
34	11	42	47
35	11	43	46
36	11	44	45
37	12	38	50
38	12	39	49
39	12	40	48
40	12	41	47
41	12	42	46
42	12	43	45
43	13	37	50
44	13	38	49
45	13	39	48
46	13	40	47
47	13	41	46
48	13	42	45
49	13	43	44
50	14	36	50
51	14	37	49
52	14	38	48
53	14	39	47
54	14	40	46
55	14	41	45
56	14	42	44
57	15	35	50
58	15	36	49
59	15	37	48
60	15	38	47
61	15	39	46
62	15	40	45
63	15	41	44
64	15	42	43
65	16	34	50
66	16	35	49
67	16	36	48
68	16	37	47
69	16	38	46
70	16	39	45
71	16	40	44
72	16	41	43
73	17	33	50
74	17	34	49
75	17	35	48
76	17	36	47
77	17	37	46
78	17	38	45
79	17	39	44
80	17	40	43
81	17	41	42
82	18	32	50
83	18	33	49
84	18	34	48
85	18	35	47
86	18	36	46
87	18	37	45
88	18	38	44
89	18	39	43
90	18	40	42
91	19	31	50
92	19	32	49
93	19	33	48
94	19	34	47
95	19	35	46
96	19	36	45
97	19	37	44
98	19	38	43
99	19	39	42
100	19	40	41
101	20	30	50
102	20	31	49
103	20	32	48
104	20	33	47
105	20	34	46
106	20	35	45
107	20	36	44
108	20	37	43
109	20	38	42
110	20	39	41
111	21	29	50
112	21	30	49
113	21	31	48
114	21	32	47
115	21	33	46
116	21	34	45
117	21	35	44
118	21	36	43
119	21	37	42
120	21	38	41
121	21	39	40
122	22	28	50
123	22	29	49
124	22	30	48
125	22	31	47
126	22	32	46
127	22	33	45
128	22	34	44
129	22	35	43
130	22	36	42
131	22	37	41
132	22	38	40
133	23	27	50
134	23	28	49

135	23	29	48
136	23	30	47
137	23	31	46
138	23	32	45
139	23	33	44
140	23	34	43
141	23	35	42
142	23	36	41
143	23	37	40
144	23	38	39
145	24	26	50
146	24	27	49
147	24	28	48
148	24	29	47
149	24	30	46
150	24	31	45
151	24	32	44
152	24	33	43
153	24	34	42
154	24	35	41
155	24	36	40
156	24	37	39
157	25	26	49
158	25	27	48
159	25	28	47
160	25	29	46
161	25	30	45
162	25	31	44
163	25	32	43
164	25	33	42
165	25	34	41
166	25	35	40
167	25	36	39
168	25	37	38
169	26	27	47
170	26	28	46
171	26	29	45
172	26	30	44
173	26	31	43
174	26	32	42
175	26	33	41
176	26	34	40
177	26	35	39
178	26	36	38
179	27	28	45
180	27	29	44

181	27	30	43
182	27	31	42
183	27	32	41
184	27	33	40
185	27	34	39
186	27	35	38
187	27	36	37
188	28	29	43
189	28	30	42
190	28	31	41
191	28	32	40
192	28	33	39
193	28	34	38
194	28	35	37
195	29	30	41
196	29	31	40
197	29	32	39
198	29	33	38
199	29	34	37
200	29	35	36
201	30	31	39
202	30	32	38
203	30	33	37
204	30	34	36
205	31	32	37
206	31	33	36
207	31	34	35
208	32	33	35
209	1	50	49
210	2	50	48
211	3	50	47
212	3	49	48
213	4	50	46
214	4	49	47
215	5	50	45
216	5	49	46
217	5	48	47
218	6	50	44
219	6	49	45
220	6	48	46
221	7	50	43
222	7	49	44
223	7	48	45
224	7	47	46
225	8	50	42
226	8	49	43

227	8	48	44
228	8	47	45
229	9	50	41
230	9	49	42
231	9	48	43
232	9	47	44
233	9	46	45
234	10	50	40
235	10	49	41
236	10	48	42
237	10	47	43
238	10	46	44
239	11	50	39
240	11	49	40
241	11	48	41
242	11	47	42
243	11	46	43
244	11	45	44
245	12	50	38
246	12	49	39
247	12	48	40
248	12	47	41
249	12	46	42
250	12	45	43
251	13	50	37
252	13	49	38
253	13	48	39
254	13	47	40
255	13	46	41
256	13	45	42
257	13	44	43
258	14	50	36
259	14	49	37
260	14	48	38
261	14	47	39
262	14	46	40
263	14	45	41
264	14	44	42
265	15	50	35
266	15	49	36
267	15	48	37
268	15	47	38
269	15	46	39
270	15	45	40
271	15	44	41
272	15	43	42

273	16	50	34
274	16	49	35
275	16	48	36
276	16	47	37
277	16	46	38
278	16	45	39
279	16	44	40
280	16	43	41
281	17	50	33
282	17	49	34
283	17	48	35
284	17	47	36
285	17	46	37
286	17	45	38
287	17	44	39
288	17	43	40
289	17	42	41
290	18	50	32
291	18	49	33
292	18	48	34
293	18	47	35
294	18	46	36
295	18	45	37
296	18	44	38
297	18	43	39
298	18	42	40
299	19	50	31
300	19	49	32
301	19	48	33
302	19	47	34
303	19	46	35
304	19	45	36
305	19	44	37
306	19	43	38
307	19	42	39
308	19	41	40
309	20	50	30
310	20	49	31
311	20	48	32
312	20	47	33
313	20	46	34
314	20	45	35
315	20	44	36
316	20	43	37
317	20	42	38
318	20	41	39

319	21	50	29
320	21	49	30
321	21	48	31
322	21	47	32
323	21	46	33
324	21	45	34
325	21	44	35
326	21	43	36
327	21	42	37
328	21	41	38
329	21	40	39
330	22	50	28
331	22	49	29
332	22	48	30
333	22	47	31
334	22	46	32
335	22	45	33
336	22	44	34
337	22	43	35
338	22	42	36
339	22	41	37
340	22	40	38
341	23	50	27
342	23	49	28
343	23	48	29
344	23	47	30
345	23	46	31
346	23	45	32
347	23	44	33
348	23	43	34
349	23	42	35
350	23	41	36
351	23	40	37
352	23	39	38
353	24	50	26
354	24	49	27
355	24	48	28
356	24	47	29
357	24	46	30
358	24	45	31
359	24	44	32
360	24	43	33
361	24	42	34
362	24	41	35
363	24	40	36
364	24	39	37

365	25	49	26
366	25	48	27
367	25	47	28
368	25	46	29
369	25	45	30
370	25	44	31
371	25	43	32
372	25	42	33
373	25	41	34
374	25	40	35
375	25	39	36
376	25	38	37
377	26	47	27
378	26	46	28
379	26	45	29
380	26	44	30
381	26	43	31
382	26	42	32
383	26	41	33
384	26	40	34
385	26	39	35
386	26	38	36
387	27	45	28
388	27	44	29
389	27	43	30
390	27	42	31
391	27	41	32
392	27	40	33
393	27	39	34
394	27	38	35
395	27	37	36
396	28	43	29
397	28	42	30
398	28	41	31
399	28	40	32
400	28	39	33
401	28	38	34
402	28	37	35
403	29	41	30
404	29	40	31
405	29	39	32
406	29	38	33
407	29	37	34
408	29	36	35
409	30	39	31
410	30	38	32

411	30	37	33
412	30	36	34
413	31	37	32
414	31	36	33
415	31	35	34
416	32	35	33
417	49	1	50
418	48	2	50
419	47	3	50
420	48	3	49
421	46	4	50
422	47	4	49
423	45	5	50
424	46	5	49
425	47	5	48
426	44	6	50
427	45	6	49
428	46	6	48
429	43	7	50
430	44	7	49
431	45	7	48
432	46	7	47
433	42	8	50
434	43	8	49
435	44	8	48
436	45	8	47
437	41	9	50
438	42	9	49
439	43	9	48
440	44	9	47
441	45	9	46
442	40	10	50
443	41	10	49
444	42	10	48
445	43	10	47
446	44	10	46
447	39	11	50
448	40	11	49
449	41	11	48
450	42	11	47
451	43	11	46
452	44	11	45
453	38	12	50
454	39	12	49
455	40	12	48
456	41	12	47

457	42	12	46
458	43	12	45
459	37	13	50
460	38	13	49
461	39	13	48
462	40	13	47
463	41	13	46
464	42	13	45
465	43	13	44
466	36	14	50
467	37	14	49
468	38	14	48
469	39	14	47
470	40	14	46
471	41	14	45
472	42	14	44
473	35	15	50
474	36	15	49
475	37	15	48
476	38	15	47
477	39	15	46
478	40	15	45
479	41	15	44
480	42	15	43
481	34	16	50
482	35	16	49
483	36	16	48
484	37	16	47
485	38	16	46
486	39	16	45
487	40	16	44
488	41	16	43
489	33	17	50
490	34	17	49
491	35	17	48
492	36	17	47
493	37	17	46
494	38	17	45
495	39	17	44
496	40	17	43
497	41	17	42
498	32	18	50
499	33	18	49
500	34	18	48
501	35	18	47
502	36	18	46

503	37	18	45
504	38	18	44
505	39	18	43
506	40	18	42
507	31	19	50
508	32	19	49
509	33	19	48
510	34	19	47
511	35	19	46
512	36	19	45
513	37	19	44
514	38	19	43
515	39	19	42
516	40	19	41
517	30	20	50
518	31	20	49
519	32	20	48
520	33	20	47
521	34	20	46
522	35	20	45
523	36	20	44
524	37	20	43
525	38	20	42
526	39	20	41
527	29	21	50
528	30	21	49
529	31	21	48
530	32	21	47
531	33	21	46
532	34	21	45
533	35	21	44
534	36	21	43
535	37	21	42
536	38	21	41
537	39	21	40
538	28	22	50
539	29	22	49
540	30	22	48
541	31	22	47
542	32	22	46
543	33	22	45
544	34	22	44
545	35	22	43
546	36	22	42
547	37	22	41
548	38	22	40

549	27	23	50
550	28	23	49
551	29	23	48
552	30	23	47
553	31	23	46
554	32	23	45
555	33	23	44
556	34	23	43
557	35	23	42
558	36	23	41
559	37	23	40
560	38	23	39
561	26	24	50
562	27	24	49
563	28	24	48
564	29	24	47
565	30	24	46
566	31	24	45
567	32	24	44
568	33	24	43
569	34	24	42
570	35	24	41
571	36	24	40
572	37	24	39
573	26	25	49
574	27	25	48
575	28	25	47
576	29	25	46
577	30	25	45
578	31	25	44
579	32	25	43
580	33	25	42
581	34	25	41
582	35	25	40
583	36	25	39
584	37	25	38
585	27	26	47
586	28	26	46
587	29	26	45
588	30	26	44
589	31	26	43
590	32	26	42
591	33	26	41
592	34	26	40
593	35	26	39
594	36	26	38

595	28	27	45
596	29	27	44
597	30	27	43
598	31	27	42
599	32	27	41
600	33	27	40
601	34	27	39
602	35	27	38
603	36	27	37
604	29	28	43
605	30	28	42
606	31	28	41
607	32	28	40
608	33	28	39
609	34	28	38
610	35	28	37
611	30	29	41
612	31	29	40
613	32	29	39
614	33	29	38
615	34	29	37
616	35	29	36
617	31	30	39
618	32	30	38
619	33	30	37
620	34	30	36
621	32	31	37
622	33	31	36
623	34	31	35
624	33	32	35
625	49	50	1
626	48	50	2
627	47	50	3
628	48	49	3
629	46	50	4
630	47	49	4
631	45	50	5
632	46	49	5
633	47	48	5
634	44	50	6
635	45	49	6
636	46	48	6
637	43	50	7
638	44	49	7
639	45	48	7
640	46	47	7

641	42	50	8
642	43	49	8
643	44	48	8
644	45	47	8
645	41	50	9
646	42	49	9
647	43	48	9
648	44	47	9
649	45	46	9
650	40	50	10
651	41	49	10
652	42	48	10
653	43	47	10
654	44	46	10
655	39	50	11
656	40	49	11
657	41	48	11
658	42	47	11
659	43	46	11
660	44	45	11
661	38	50	12
662	39	49	12
663	40	48	12
664	41	47	12
665	42	46	12
666	43	45	12
667	37	50	13
668	38	49	13
669	39	48	13
670	40	47	13
671	41	46	13
672	42	45	13
673	43	44	13
674	36	50	14
675	37	49	14
676	38	48	14
677	39	47	14
678	40	46	14
679	41	45	14
680	42	44	14
681	35	50	15
682	36	49	15
683	37	48	15
684	38	47	15
685	39	46	15
686	40	45	15

687	41	44	15
688	42	43	15
689	34	50	16
690	35	49	16
691	36	48	16
692	37	47	16
693	38	46	16
694	39	45	16
695	40	44	16
696	41	43	16
697	33	50	17
698	34	49	17
699	35	48	17
700	36	47	17
701	37	46	17
702	38	45	17
703	39	44	17
704	40	43	17
705	41	42	17
706	32	50	18
707	33	49	18
708	34	48	18
709	35	47	18
710	36	46	18
711	37	45	18
712	38	44	18
713	39	43	18
714	40	42	18
715	31	50	19
716	32	49	19
717	33	48	19
718	34	47	19
719	35	46	19
720	36	45	19
721	37	44	19
722	38	43	19
723	39	42	19
724	40	41	19
725	30	50	20
726	31	49	20
727	32	48	20
728	33	47	20
729	34	46	20
730	35	45	20
731	36	44	20
732	37	43	20

733	38	42	20
734	39	41	20
735	29	50	21
736	30	49	21
737	31	48	21
738	32	47	21
739	33	46	21
740	34	45	21
741	35	44	21
742	36	43	21
743	37	42	21
744	38	41	21
745	39	40	21
746	28	50	22
747	29	49	22
748	30	48	22
749	31	47	22
750	32	46	22
751	33	45	22
752	34	44	22
753	35	43	22
754	36	42	22
755	37	41	22
756	38	40	22
757	27	50	23
758	28	49	23
759	29	48	23
760	30	47	23
761	31	46	23
762	32	45	23
763	33	44	23
764	34	43	23
765	35	42	23
766	36	41	23
767	37	40	23
768	38	39	23
769	26	50	24
770	27	49	24
771	28	48	24
772	29	47	24
773	30	46	24
774	31	45	24
775	32	44	24
776	33	43	24
777	34	42	24
778	35	41	24

779	36	40	24
780	37	39	24
781	26	49	25
782	27	48	25
783	28	47	25
784	29	46	25
785	30	45	25
786	31	44	25
787	32	43	25
788	33	42	25
789	34	41	25
790	35	40	25
791	36	39	25
792	37	38	25
793	27	47	26
794	28	46	26
795	29	45	26
796	30	44	26
797	31	43	26
798	32	42	26
799	33	41	26
800	34	40	26
801	35	39	26
802	36	38	26
803	28	45	27
804	29	44	27
805	30	43	27
806	31	42	27
807	32	41	27
808	33	40	27
809	34	39	27
810	35	38	27
811	36	37	27
812	29	43	28
813	30	42	28
814	31	41	28
815	32	40	28
816	33	39	28
817	34	38	28
818	35	37	28
819	30	41	29
820	31	40	29
821	32	39	29
822	33	38	29
823	34	37	29
824	35	36	29

825	31	39	30
826	32	38	30
827	33	37	30
828	34	36	30
829	32	37	31
830	33	36	31
831	34	35	31
832	33	35	32
833	50	1	49
834	50	2	48
835	50	3	47
836	49	3	48
837	50	4	46
838	49	4	47
839	50	5	45
840	49	5	46
841	48	5	47
842	50	6	44
843	49	6	45
844	48	6	46
845	50	7	43
846	49	7	44
847	48	7	45
848	47	7	46
849	50	8	42
850	49	8	43
851	48	8	44
852	47	8	45
853	50	9	41
854	49	9	42
855	48	9	43
856	47	9	44
857	46	9	45
858	50	10	40
859	49	10	41
860	48	10	42
861	47	10	43
862	46	10	44
863	50	11	39
864	49	11	40
865	48	11	41
866	47	11	42
867	46	11	43
868	45	11	44
869	50	12	38
870	49	12	39

871	48	12	40
872	47	12	41
873	46	12	42
874	45	12	43
875	50	13	37
876	49	13	38
877	48	13	39
878	47	13	40
879	46	13	41
880	45	13	42
881	44	13	43
882	50	14	36
883	49	14	37
884	48	14	38
885	47	14	39
886	46	14	40
887	45	14	41
888	44	14	42
889	50	15	35
890	49	15	36
891	48	15	37
892	47	15	38
893	46	15	39
894	45	15	40
895	44	15	41
896	43	15	42
897	50	16	34
898	49	16	35
899	48	16	36
900	47	16	37
901	46	16	38
902	45	16	39
903	44	16	40
904	43	16	41
905	50	17	33
906	49	17	34
907	48	17	35
908	47	17	36
909	46	17	37
910	45	17	38
911	44	17	39
912	43	17	40
913	42	17	41
914	50	18	32
915	49	18	33
916	48	18	34

917	47	18	35
918	46	18	36
919	45	18	37
920	44	18	38
921	43	18	39
922	42	18	40
923	50	19	31
924	49	19	32
925	48	19	33
926	47	19	34
927	46	19	35
928	45	19	36
929	44	19	37
930	43	19	38
931	42	19	39
932	41	19	40
933	50	20	30
934	49	20	31
935	48	20	32
936	47	20	33
937	46	20	34
938	45	20	35
939	44	20	36
940	43	20	37
941	42	20	38
942	41	20	39
943	50	21	29
944	49	21	30
945	48	21	31
946	47	21	32
947	46	21	33
948	45	21	34
949	44	21	35
950	43	21	36
951	42	21	37
952	41	21	38
953	40	21	39
954	50	22	28
955	49	22	29
956	48	22	30
957	47	22	31
958	46	22	32
959	45	22	33
960	44	22	34
961	43	22	35
962	42	22	36

963	41	22	37
964	40	22	38
965	50	23	27
966	49	23	28
967	48	23	29
968	47	23	30
969	46	23	31
970	45	23	32
971	44	23	33
972	43	23	34
973	42	23	35
974	41	23	36
975	40	23	37
976	39	23	38
977	50	24	26
978	49	24	27
979	48	24	28
980	47	24	29
981	46	24	30
982	45	24	31
983	44	24	32
984	43	24	33
985	42	24	34
986	41	24	35
987	40	24	36
988	39	24	37
989	49	25	26
990	48	25	27
991	47	25	28
992	46	25	29
993	45	25	30
994	44	25	31
995	43	25	32
996	42	25	33
997	41	25	34
998	40	25	35
999	39	25	36
1000	38	25	37
1001	47	26	27
1002	46	26	28
1003	45	26	29
1004	44	26	30
1005	43	26	31
1006	42	26	32
1007	41	26	33
1008	40	26	34

1009	39	26	35
1010	38	26	36
1011	45	27	28
1012	44	27	29
1013	43	27	30
1014	42	27	31
1015	41	27	32
1016	40	27	33
1017	39	27	34
1018	38	27	35
1019	37	27	36
1020	43	28	29
1021	42	28	30
1022	41	28	31
1023	40	28	32
1024	39	28	33
1025	38	28	34
1026	37	28	35
1027	41	29	30
1028	40	29	31
1029	39	29	32
1030	38	29	33
1031	37	29	34
1032	36	29	35
1033	39	30	31
1034	38	30	32
1035	37	30	33
1036	36	30	34
1037	37	31	32
1038	36	31	33
1039	35	31	34
1040	35	32	33
1041	50	49	1
1042	50	48	2
1043	50	47	3
1044	49	48	3
1045	50	46	4
1046	49	47	4
1047	50	45	5
1048	49	46	5
1049	48	47	5
1050	50	44	6
1051	49	45	6
1052	48	46	6
1053	50	43	7
1054	49	44	7

1055	48	45	7
1056	47	46	7
1057	50	42	8
1058	49	43	8
1059	48	44	8
1060	47	45	8
1061	50	41	9
1062	49	42	9
1063	48	43	9
1064	47	44	9
1065	46	45	9
1066	50	40	10
1067	49	41	10
1068	48	42	10
1069	47	43	10
1070	46	44	10
1071	50	39	11
1072	49	40	11
1073	48	41	11
1074	47	42	11
1075	46	43	11
1076	45	44	11
1077	50	38	12
1078	49	39	12
1079	48	40	12
1080	47	41	12
1081	46	42	12
1082	45	43	12
1083	50	37	13
1084	49	38	13
1085	48	39	13
1086	47	40	13
1087	46	41	13
1088	45	42	13
1089	44	43	13
1090	50	36	14
1091	49	37	14
1092	48	38	14
1093	47	39	14
1094	46	40	14
1095	45	41	14
1096	44	42	14
1097	50	35	15
1098	49	36	15
1099	48	37	15
1100	47	38	15

1101	46	39	15
1102	45	40	15
1103	44	41	15
1104	43	42	15
1105	50	34	16
1106	49	35	16
1107	48	36	16
1108	47	37	16
1109	46	38	16
1110	45	39	16
1111	44	40	16
1112	43	41	16
1113	50	33	17
1114	49	34	17
1115	48	35	17
1116	47	36	17
1117	46	37	17
1118	45	38	17
1119	44	39	17
1120	43	40	17
1121	42	41	17
1122	50	32	18
1123	49	33	18
1124	48	34	18
1125	47	35	18
1126	46	36	18
1127	45	37	18
1128	44	38	18
1129	43	39	18
1130	42	40	18
1131	50	31	19
1132	49	32	19
1133	48	33	19
1134	47	34	19
1135	46	35	19
1136	45	36	19
1137	44	37	19
1138	43	38	19
1139	42	39	19
1140	41	40	19
1141	50	30	20
1142	49	31	20
1143	48	32	20
1144	47	33	20
1145	46	34	20
1146	45	35	20

1147	44	36	20
1148	43	37	20
1149	42	38	20
1150	41	39	20
1151	50	29	21
1152	49	30	21
1153	48	31	21
1154	47	32	21
1155	46	33	21
1156	45	34	21
1157	44	35	21
1158	43	36	21
1159	42	37	21
1160	41	38	21
1161	40	39	21
1162	50	28	22
1163	49	29	22
1164	48	30	22
1165	47	31	22
1166	46	32	22
1167	45	33	22
1168	44	34	22
1169	43	35	22
1170	42	36	22
1171	41	37	22
1172	40	38	22
1173	50	27	23
1174	49	28	23
1175	48	29	23
1176	47	30	23
1177	46	31	23
1178	45	32	23
1179	44	33	23
1180	43	34	23
1181	42	35	23
1182	41	36	23
1183	40	37	23
1184	39	38	23
1185	50	26	24
1186	49	27	24
1187	48	28	24
1188	47	29	24
1189	46	30	24
1190	45	31	24
1191	44	32	24
1192	43	33	24

1193	42	34	24
1194	41	35	24
1195	40	36	24
1196	39	37	24
1197	49	26	25
1198	48	27	25
1199	47	28	25
1200	46	29	25
1201	45	30	25
1202	44	31	25
1203	43	32	25
1204	42	33	25
1205	41	34	25
1206	40	35	25
1207	39	36	25
1208	38	37	25
1209	47	27	26
1210	46	28	26
1211	45	29	26
1212	44	30	26
1213	43	31	26
1214	42	32	26
1215	41	33	26
1216	40	34	26
1217	39	35	26
1218	38	36	26
1219	45	28	27
1220	44	29	27
1221	43	30	27
1222	42	31	27
1223	41	32	27
1224	40	33	27
1225	39	34	27
1226	38	35	27
1227	37	36	27
1228	43	29	28
1229	42	30	28
1230	41	31	28
1231	40	32	28
1232	39	33	28
1233	38	34	28
1234	37	35	28
1235	41	30	29
1236	40	31	29
1237	39	32	29
1238	38	33	29

1239	37	34	29
1240	36	35	29
1241	39	31	30
1242	38	32	30
1243	37	33	30
1244	36	34	30
1245	37	32	31
1246	36	33	31
1247	35	34	31
1248	35	33	32

