

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

Alexandre Afonso Meyer

Mudanças no uso da terra e impactos biofísicos no Bioma Pampa

Porto Alegre

2021

Alexandre Afonso Meyer

Mudanças no uso da terra e impactos biofísicos no Bioma Pampa

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

Orientador Prof. Dr. Paulo Waquil
Coorientador Prof. Dr. Valério de Patta Pillar

Porto Alegre

2021

Alexandre Afonso Meyer

Mudanças no uso da terra e impactos biofísicos no Bioma Pampa

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

BANCA EXAMINADORA

Prof. Dr. Edson Talamini
Universidade Federal do Rio Grande do Sul - UFRGS

Prof. Dr. Mario Conill Gomes
Universidade Federal de Pelotas – UFPEL

Prof. Dr. Paulo César de Faccio Carvalho
Universidade Federal do Rio Grande do Sul - UFRGS

Orientador Prof. Dr. Paulo Dabdab Waquill
Universidade Federal do Rio Grande do Sul - UFRGS

CIP - Catalogação na Publicação

Meyer, Alexandre Afonso
Mudanças no uso da terra e impactos biofísicos no
Bioma Pampa / Alexandre Afonso Meyer. -- 2021.
149 f.
Orientador: Paulo Dabdab Waquil.

Coorientador: Valério De Patta Pillar.

Tese (Doutorado) -- Universidade Federal do Rio
Grande do Sul, Centro de Estudos e Pesquisas em
Agronegócios, Programa de Pós-Graduação em
Agronegócios, Porto Alegre, BR-RS, 2021.

1. Agricultura. 2. Pecuária. 3. Sustentabilidade.
4. Recursos Naturais. 5. Bioeconomia. I. Waquil, Paulo
Dabdab, orient. II. Pillar, Valério De Patta,
coorient. III. Título.

Dedico este trabalho a todos os meus amigos verdadeiros, a minha esposa Michelle, meus filhos Inácio e Isadora e ao meu pai, (In memoriam).

AGRADECIMENTOS

Agradeço a CAPES pela bolsa de estudos a mim concedida. A bolsa CAPES foi fundamental para minha dedicação integral a pesquisa desenvolvida.

Aos professores do Programa de Pós-Graduação em Agronegócios - CEPAN, que se dedicam para melhoria contínua e formação de pessoas.

Ao meu orientador, professor Dr. Paulo Dabdab Waquil, agradeço pela paciência e pela dedicação com que trata as atividades de docência e orientação que exerce, destacando-se como grande exemplo para mim.

Agradecimentos ao Grupo de Pesquisa em Bioeconomia Aplicada ao Agronegócio (NEB-AGRO), da UFRGS, representado pelo professor Dr. Edson Talamini, por compartilhar e discutir tão habilmente os temas envolvidos com sustentabilidade, bioeconomia, produção e consumo de alimentos diante de desafios presentes e futuros. O aprendizado das reuniões do grupo foram a base do conhecimento que possuo a respeito de bioeconomia. Agradeço também a Dr^a Gabriela Allegretti e Dr^a Fabiana Rodrigues Riva.

Agradeço ao Núcleo de Estudos em Economia Agrária (NEEA), liderado pelo professor Dr. Paulo Dabdab Waquil, pela riqueza na troca de experiências em nossas sessões presenciais e virtuais. A colaboração entre alunos provenientes de diversas áreas do conhecimento, consolidou o meu trabalho de tese, sendo de fundamental ajuda. Estendo meus agradecimentos ao grupo de pesquisas do Laboratório de Ecologia Quantitativa da UFRGS, onde obtive significativa e fundamental evolução dentro de alguns temas tratados na ecologia. E ao grupo de pesquisas que compôs o projeto NEXUS na UFRGS, especialmente ao professor Valério De Patta Pillar, que me acolheu prontamente logo que o solicitei e pela imensa amabilidade e gentileza com que sempre tratou os pesquisadores e alunos onde me incluo.

Por fim, agradeço ao Dr. Felipe Dalzotto Artuzo pela enorme colaboração e pelas discussões, propostas e correções da pesquisa. E aos colegas: Dr. Cristian Foguesato, Eluado de Oliveira Marques e Cainã Lima Costa.

RESUMO

As terras férteis são demandadas para o cultivo e criação de animais desde os primórdios da humanidade e de muito tempo, o tema do uso da terra é discutido, sua preservação, as consequências e as causas que determinam novas formas de exploração e os limites do recurso. A expectativa de aumento da população humana impulsiona o debate, juntamente com a percepção da escassez de recursos finitos. O objetivo deste trabalho foi examinar efeitos das mudanças do uso da terra no Bioma Pampa. A análise foi construída por meio da comparação entre diferentes tipos de uso da terra. A tese foi estruturada em dois artigos. O primeiro artigo avaliou mudanças históricas no uso da terra dentro do Bioma Pampa. Na avaliação das mudanças históricas no uso da terra, foram eleitas variáveis que permitissem uma análise das mudanças do bioma como área ocupada e rendimento histórico das culturas. Os dados das variáveis que compõem a análise histórica do uso da terra provem dos bancos de dados do IBGE, interpretados após tratamento comparativo entre médias, ANOVA. De posse dos resultados da caracterização do uso da terra no bioma, se procedeu a análise dos efeitos biofísicos das formas de uso da terra, de acordo com as três principais culturas, compondo o segundo artigo da tese. Os efeitos biofísicos foram analisados utilizando a Contabilidade Emergética. Nesta etapa foram coletados dados primários de insumos, assim como resultados produtivos de unidades comparáveis de manejo, na região, utilizando entrevistas estruturadas. Os dados de insumos e produtos foram transformados pela metodologia emergética e analisados posteriormente. Os resultados do período (1985-2018) demonstram crescimento constante nos rendimentos acumulados por unidade de área, nas três principais culturas, Bovinos de Corte, Soja e Arroz. Ao longo do período analisado (1985-2018), a taxa de conversão de pastagens naturais para agricultura foi de 22%. O exame comparativo de sustentabilidade entre os sistemas produtivos analisados, mostrou que a pecuária de corte desenvolvida em pastagens naturais, apresenta melhores índices de sustentabilidade nos recursos biofísicos, quando analisados sob o ponto de vista da contabilidade emergética e dos tradicionais índices utilizados para avaliar pressão sobre recursos e seu uso sustentável. Contudo, quando isolamos a variável “energia de produtos” e a submetemos, nos diferentes sistemas produtivos da mesma região e durante o mesmo período de tempo, a um índice relacionado aos recursos renováveis e não renováveis representando a carga ambiental provocada pela atividade, se verificou que os resultados favorecem os sistemas integrados de agricultura e pecuária com bovinos de corte, que tem na produção de grãos no verão sua principal atividade no uso da terra. Ao encontrar os resultados expostos acima se propõem inserir o tema dos rendimentos no uso de recursos em diferentes usos da terra, sobre a discussão em torno da ideia de sustentabilidade da agricultura no bioma Pampa.

Palavras-chave: Agricultura, pecuária, sustentabilidade, recursos naturais, bioeconomia.

ABSTRACT

Fertile lands are demanded for the cultivation and raising of animals since the dawn of humanity and for a long time, the theme of land use is discussed, its preservation, the consequences and causes that determine new forms of exploitation and the limits to which are subject to these resources. The expectation of an increase in human population drives the debate, along with the scarcity of finite resources. The objective of this work is to examine the effects of changes in land use in the Pampa Biome, from the point of view of resource use. The analysis was built by comparing different types of land use. The thesis was structured with two articles. The first article evaluated historical changes in land use within the Pampa Biome. In the evaluation of historical changes in land use, variables were chosen that would allow an analysis of changes in the biome such as occupied area and historical crop yield. The data on the variables that make up the historical analysis of land use come from IBGE databases, interpreted after a comparative treatment between means, ANOVA. With the results of the characterization of land use in the biome, an analysis of the biophysical effects of the forms of land use was carried out, according to the three main cultures. Biophysical effects were analyzed using Emergetic Accounting. At this stage, primary input data were collected, as well as production results from management units in the region, using structured interviews. Input and output data were transformed by the emergy methodology and analyzed later. The results for the period (1985-2018) show constant growth in accumulated yields per unit of area, in the three main crops, Beef Cattle, Soybean and Rice. Over the period analyzed (1985-2018), the conversion rate from natural pastures to agriculture was 22%. The comparative examination of sustainability between the analyzed production systems showed that beef cattle farming developed in natural pastures presents better sustainability indices in biophysical resources, when analyzed from the point of view of emergy accounting and the traditional indices used to assess pressure on resources and their sustainable use. However, when we isolated the variable "product energy" and submitted it, in the different production systems of the same region and for the same period of time, to an index related to renewable and non-renewable resources, it was found that the results favor mixed systems which has in summer grain production its main land use activity. Upon finding the results presented above, we propose to insert the theme of income in the use of resources in different land uses, on the discussion around the idea of sustainability of the Pampa biome.

Keywords: Agriculture, livestock, sustainability, natural resources, bioeconomy.

LISTA DE FIGURAS

Figura 1 - Bioma Pampa dentro do Rio Grande do Sul.....	23
Figura 2 - Processo biológico básico.....	26
Figura 3 - Representação sistemática de sistemas biológicos terrestres	38
Figura 4 - Transitions in land use in the Brazilian Pampa Biome between 1985 and 2018 (Km ²).....	52
Figura 5. Brazilian Extension of the Pampa Biome.....	54
Figura 6: Percentage variations of the average quantity of product and the area used by soy (a), rice (b) and beef(c) production activities, between the periods, in the Pampa Biome.....	57
Figure 7: a) Participation (%) of the Pampa Bovine Herd in Relation to the State of RS (%); b) Pampa Bovine Herd in Relation to Natural Formation Area (head / ha).....	58
Figura 8 - Land distribution in the Pampa in 2017.....	67
Figura 9. Distribuição das Unidades amostrais dentro do bioma Pampa, Rio Grande do Sul, Brasil.....	81
Figura 10. Modelo comparativo entre unidades de manejo no Bioma Pampa.....	84
Figura 11. Modelo conceitual - Fluxos de energia UP_i e dos sistemas UI_S e UI_A	86
Figura 12 – Aportes de Energia (Y) por tipo de uso da terra.....	88
Figura 13 – Comparação de E_p , entre UP_i e UI_i	90
Figura 14 - Índices emergéticos nos 8 conjuntos de unidades de manejo amostradas e as médias de cada índice por tipo de uso da terra.....	94

LISTA DE QUADROS

Quadro 1 – Fluxos de entrada e saída dos sistemas produtivos analisados.....	27
Quadro 2 – Índices selecionados na avaliação emergética de Agroecosistemas no Pampa	27
Quadro 3 – Custos e benefícios das práticas de produção na agricultura.....	32
Quadro 4 - Eficiência dos sistemas (Relação entre Ep & ELR* das amostras).....	102

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 – Variáveis das culturas de Arroz, Soja e Pecuária na região do Pampa do Brasil (1985 a 2018).....	57
Tabela 2 – Mudanças na área de floresta no Pampa entre 1985 a 2018 (Km ² / ano) .	61
Tabela 3 – Área (ha) de produção de lavouras temporárias, por tipologia de produtor.....	64
Tabela 4 – Composição dos conjuntos de unidades de manejo.....	81
Tabela 5 – Índices selecionados para avaliação dos sistemas agrícolas.....	85
Tabela 6 – Fluxos anuais de energia dos sistemas de pecuária em campo nativo (P) e sistemas integrados (SI) – Bioma Pampa, Brasil.....	91

SUMÁRIO

CAPÍTULO 1 - APRESENTAÇÃO DA PROPOSTA DE TESE	14
1.1 Introdução.....	14
1.2 Problema de pesquisa.....	18
1.3 Objetivos.....	18
1.3.1 Objetivo geral	18
1.3.2 Objetivos específicos.....	19
1.4 Motivação do estudo e desafios	19
CAPÍTULO 2 - PROCEDIMENTOS DA PESQUISA	21
2.1 Estrutura da Tese	21
2.2 Coleta e análise de dados	22
2.3 Emergia	24
2.4 Índice de Eficiência do Sistema (ES)	28
CAPÍTULO 3 - CONTEXTUALIZAÇÃO TEÓRICA.....	29
3.1 Introdução.....	29
3.2 Mudanças no Uso da Terra.....	30
3.3 Sistemas Biológicos	35
3.4 Biomas.....	38
3.5 Bioeconomia.....	40
3.6 Sustentabilidade Agrícola.....	43
3.7 Considerações Finais	44
Referências	46
CAPÍTULO 4 -LAND USE CHANGE IN THE BRAZILIAN PAMPA BIOME.....	45
4.1 Introduction.....	45
4.2 Methodology.....	47
4.2.1 Characterization of the Study Area.....	47
4.2.2 Object of the Study.....	48
4.2.3 Data Analysis.....	49
4.3. Results and discussion.....	50
4.3.1 Relative variations between land use and yields.....	50
4.3.2 Variations in biome production indices.....	52
4.3.3 Intensification of land use.....	55
4.3.4 Crop-livestock Integration systems.....	57
4.3.5 Land use planning (LUP).....	59
4.4 Final Considerations.....	62
References.....	64
CAPÍTULO 5 - IMPACTOS BIOFÍSICOS DA MUDANÇA DO USO DA TERRA NO BIOMA PAMPA.....	70
5.1 Introdução.....	70
5.2 Metodologia.....	72
5.2.1 Caracterização do local.....	72
5.2.2 Coleta de Dados.....	73
5.2.3 Descrição das Unidades de Manejo Analisadas.....	75
5.2.4 Análise Emergética.....	76

5.2.5 Análise Emergética dos Conjuntos de Sistemas.....	77
5.2.6 Índices emergéticos para análise comparativa dos sistemas produtivos.....	78
5.3. Resultados.....	79
5.3.1 Análise dos <i>inputs</i> em UP_i e UI_i	79
5.3.2 Recursos Renováveis da Natureza (R).....	80
5.3.3 Recursos Não Renováveis da Natureza (N).....	80
5.3.4 Materiais e Serviços da Economia (M e S).....	81
5.4 Análises dos Índices Emergéticos.....	81
5.4.1 Rendimento (E_p) e Transformidade (Tr).....	82
5.4.2 Renovabilidade ($R\%$).....	83
5.4.3 Taxa de Eficiência Emergética (EYR^*).....	85
5.4.4 Taxa de Investimento Emergético (EIR).....	86
5.4.5 Taxa de Carga Ambiental (ELR^*).....	87
5.4.6 Índice Emergético de Insustentabilidade (EUI as).....	87
5.5 Discussão.....	88
5.5.1 Níveis Biofísicos dos Sistemas Agrícolas Negligenciando E_p	91
5.5.2 Níveis Biofísicos dos Sistemas Agrícolas Incorporando E_p	96
5.6 Considerações Finais.....	98
Referências.....	98
CAPÍTULO 6 - CONSIDERAÇÕES FINAIS	114
6.1 Conclusões e Contribuições.....	114
6.2 Limitações da Pesquisa.....	116
Referências	117
Apêndice A – Quadro com variáveis e valores.....	125
Apêndice B – Lista de municípios que compõem o Bioma Pampa no Rio Grande do Sul	126
Apêndice C - Memória de cálculo para perdas de solo.....	127
Apêndice D - Memorial de Cálculo dos Fluxos Emergéticos.....	128

CAPÍTULO 1 - APRESENTAÇÃO DA PROPOSTA DE TESE

1.1 INTRODUÇÃO

Malthus (1798) descreveu com ceticismo, duas leis naturais, atuando de maneira forte, constante e desigual, sobre as populações de todo o planeta. Para Malthus, essas duas leis naturais são capazes de “comandar” uma sociedade: (i) aumento na população e a (ii) produção da terra. Pois, ao limitar o crescimento dos recursos de subsistência e elevar o crescimento populacional, o “vício” seria uma consequência altamente provável e uma grande parcela da humanidade poderia ser duramente afetada. As leis citadas, portanto, seriam decisivas a favor da existência das dificuldades de subsistência. Em seu ensaio, Malthus (1798) sustenta que na medida em que os meios de subsistência são totalmente satisfeitos por todas as parcelas da população, existe uma tendência de crescimento mais pronunciado dessa população levando a um aumento em progressão geométrica. Por outro lado, o autor sustenta que a capacidade da terra produzir meios de subsistência, podem crescer de maneira desigual, quando comparada ao crescimento populacional e assim que a produção agrícola atinge patamares aceitáveis de provimento às pessoas, novamente ocorre o crescimento desordenado e o problema da subsistência insuficiente retorna.

Em 1803 a população mundial atingiu 1 bilhão de pessoas e levariam 124 anos (1927) para que a população dobrasse de tamanho atingindo 2 bilhões. Entre 1927 e 1960, (33 anos) alcançou-se a marca de 3 bilhões de pessoas, confirmando uma taxa de crescimento exponencial, que somente na década de 1970 atingiria um ponto de inflexão, reduzindo as taxas de expansão demográfica mundiais (ROSER e RITCHIE, 2018). Em 1965, Buserup se opôs as ideias de Malthus, adotando como eixo fundamental de sua teoria, o crescimento populacional como uma variável independente e a evolução agrícola como a variável dependente do aumento da população. Em seu trabalho, a autora aborda a dinâmica do uso da terra através da intensidade no uso do recurso e se opõe a uma abordagem clássica que diferencia terras cultivadas, de reservas de terras virgens, propondo assim uma base em torno da ideia de intensidade no uso da terra. E neste sentido, descreve que as regiões “subdesenvolvidas” vinham sofrendo de uma transformação no uso da terra, em favor de uma intensificação de áreas agrícolas, ao mesmo tempo em que áreas do Extremo Oriente experimentavam uma intensificação ainda mais elevada no uso de terras

agrícolas, atingindo níveis máximos de acordo com os cinco níveis de intensificação descritos pela autora. Os exemplos ilustram a ideia de que gradualmente os sistemas agrários se tornaram mais intensivos ao longo do tempo, em decorrência do aumento populacional. Ou seja, o mesmo fenômeno, em diferentes partes do planeta causando reflexos no uso da terra.

Um aspecto básico da existência humana, é a transformação de paisagens para obter comida, fibras e madeira, o que pode ser aplicado tanto para um agricultor de subsistência, como para um conglomerado exportador de alimentos, ambos com objetivo de produzir produtos para o consumo humano. Essas práticas, no entanto, também produzem efeitos não intencionais como alterações em bacias hidrográficas, biodiversidade e vetores de zoonoses (DE FRIES et al., 2004).

A produção agrícola mundial afastou-se das ideias Malthusianas e se aproximou das ideias de Buserup, fazendo frente ao crescimento populacional e ao conseqüente aumento da demanda por alimentos. Os aumentos ocorreram tanto pela intensificação da produção (elevação dos rendimentos por unidade de área), como por expansão de áreas de cultivo. A área total do planeta, cultivada no período de 1961 a 2005, sofreu um crescimento de 27%, enquanto os rendimentos dos cultivos cresceram 135% no mesmo período (BURNEY et al., 2010). Os aumentos nos rendimentos decorreram principalmente pela via tecnológica, como o uso de cultivares mais produtivos e melhorias nas técnicas de manejo envolvendo irrigação, fertilização, uso de defensivos e mecanização. O fenômeno histórico da revolução agrícola que gerou grandes aumentos nos rendimentos da agricultura, atende pelo nome de Revolução Verde; que ocorreu principalmente entre as décadas de 1960 a 1980 e derivou da hipótese Borlaug. Hipótese levantada pelo cientista Norman Ernest Borlaug (1914-2009) que postulava o aumento da produtividade pela via de intensificação de culturas, como uma forma de combate a fome mundial e preservação de biomas e da natureza em geral. Existem discussões contraditórias com relação a Revolução Verde. As opiniões se dividem em dois tipos de abordagem; aquela que relega a Revolução Verde como um movimento menos virtuoso, por conta do aumento da dependência de insumos como combustíveis derivados do petróleo e ampliação do uso de defensivos agrícolas; e a abordagem mais virtuosa, que toma a Revolução verde como responsável pela preservação de áreas que teriam sido usadas, não fossem os aumentos nos rendimentos das culturas para atender um aumento na

demanda pelo crescimento da população mundial (CUNHA et al., 2010). No trabalho de Burney et al. (2009), demonstrou-se que as emissões de carbono antropogênicas, causadas pela agricultura no estado atual de intensividade (12% das emissões totais), foram inferiores as emissões que teriam ocorrido no caso de uma exploração agrícola extensiva. Os pesquisadores analisaram as emissões entre os anos de 1961 a 2005 e chegaram à conclusão de que os maiores rendimentos na agricultura evitaram emissões da ordem de 161 gigatoneladas de carbono no período, por conta de áreas naturais que deixaram de ser exploradas. Em outra margem das abordagens a respeito da exploração agrícola, apresentam-se efeitos, que levantam a questão da exaustão de recursos não renováveis como solo, recursos minerais e energia derivada de petróleo.

De acordo com os dados históricos, é razoável, admitirmos que teremos maiores demandas por recursos destinados a agricultura, com possibilidades de aumento nos desequilíbrios da distribuição espacial de pessoas pela superfície terrestre nas próximas décadas, podendo acarretar na exploração excessiva de determinados recursos naturais em determinadas regiões geográficas e a possibilidade de esgotamentos. A afirmação parece coerente, pois apesar das sucessivas quedas nas taxas de crescimento demográfico médio, a população mundial continua se expandindo. Atualmente, a área ocupada por lavouras em toda extensão terrestre, é de aproximadamente 1,87 bilhão de hectares. Para uma população de 7,6 bilhões de habitantes, cada hectare alimenta aproximadamente 4 pessoas do planeta (EMBRAPA, 2017). Segundo projeções da ONU, a população mundial deve aumentar em torno de 2,4 bilhões de pessoas, nos próximos 30 anos, o que demonstra sem nenhuma dúvida, que as demandas por recursos naturais e alimentos, aumentarão. Observando a mesma proporcionalidade de área de cultivo por habitante, citada pela ONU, nas próximas três décadas necessitaríamos de mais 600 milhões de hectares de cultivo, um acréscimo de 25% de áreas cultivadas no planeta com relação ao que já existe na agricultura. Assim como o aumento na expansão do uso de áreas agrícolas pode gerar exaustão de recursos, o desequilíbrio nas necessidades de consumo das nações, pode acelerar o curso do esgotamento de recursos em determinadas regiões. Vastas populações humanas apresentam grandes diferenças de consumo. Por exemplo, um americano utiliza em média 10,3 hectares de terra para que sejam produzidos todos os recursos que um indivíduo consome e

sejam assimilados todos os resíduos, um cidadão italiano usa para os mesmos fins, 4,3 hectares e um indiano utiliza de 0,5 a 0,8 hectares (WACKERNAGEL et al., 1997).

Muitos debates atuais em torno do uso da terra, refletem a busca por uma condição ideal envolvendo aumentos na produção de alimentos e fibras, necessários para cumprir novas demandas de entrega de recursos, sem alterar demasiadamente os ciclos naturais, de maneira a fornecer suporte a vida em toda sua extensão e assim alcançar uma sustentabilidade. O Brasil possui reservas importantes de terras agricultáveis em seus biomas (EMBRAPA, 2017). Estudos envolvendo as mudanças no uso da terra e seus efeitos nos diferentes biomas, implicam em uma reflexão para a sociedade. A reflexão deve tratar do dilema entre os efeitos da transformação de ambientes naturais e a necessidade de aumentar a produção de alimentos que são demandados de maneira crescente. Encontrar o equilíbrio entre a exploração de novas áreas de maneira sustentável, do ponto de vista do uso de recursos na agricultura é um tema complexo, o qual transportamos para uma região específica, o Bioma Pampa no Brasil; o texto examina efeitos de mudanças no uso da terra nos agroecossistemas da região. Mudanças no uso da terra ao longo de um período de mais de 3 décadas, são caracterizadas dentro da região do bioma Pampa e as diferenças na eficiência do uso de recursos para produção, são confrontados entre três atividades, representando diferentes matrizes produtivas de uso de recursos para produzir alimentos.

Estudos que pretendem analisar quantitativamente os efeitos da transformação de áreas naturais em áreas produtoras de grãos e carne, podem lançar evidências importantes sobre a discussão em torno de quais seriam os limites suportáveis para o uso de recursos na produção de alimentos para a região do Pampa no Brasil.

Para que pudéssemos analisar algumas consequências das mudanças no uso da terra e estimar os gastos de recursos de cada tipo de uso e assim obter evidências sobre o grau de sustentabilidade de sistemas produtivos comparados, propusemos um estudo que descreve a dinâmica das atividades produtivas e suas respectivas dependências de recursos.

A abordagem do problema caracteriza as mudanças no uso da terra no bioma Pampa, dentro de um período histórico e faz um comparativo entre o uso dos recursos necessários para produzir alimentos em ambiente natural, comparado com o uso dos recursos utilizados para produzir alimentos em ambientes modificados, dentro do

Bioma Pampa. Para que o conceito de uso continuado de recursos se torne uma realidade é preciso identificar e quantificar os estoques e estimar o nível de esgotamento (RAMANKUTTY e FOLEY, 1999). Desta forma, propusemos uma avaliação histórica da região como avaliação da mudança da matriz produtiva e de seus resultados para descrever a mudança no uso da terra e uma comparação dos recursos biofísicos entre a produção da pecuária com bovinos de corte, desenvolvida em pastos naturais, com sistemas mistos. E por meio da comparação no uso dos recursos biofísicos utilizados nos diferentes sistemas produtivos e nas respostas em produtos, estimamos a sustentabilidade, comparando os três principais sistemas produtivos da região do Pampa. A referência aos “principais sistemas produtivos da região do Pampa” foi considerada desta forma, por se tratar das atividades que ocupam as maiores extensões de área de terras na região de estudo.

Os sistemas mistos de exploração da terra, são compostos por agricultura no verão e pastagens cultivadas de inverno, para pastoreio direto de bovinos no período invernal. A avaliação do uso da terra nos municípios do bioma Pampa, foi executada com dados históricos do IBGE e a comparação entre as atividades, com relação aos recursos biofísicos utilizados em diferentes matrizes produtivas ou sistemas produtivos, foi construída por meio da metodologia proposta por Odum (1987), a contabilidade Emergética, detalhada no capítulo 2 deste texto.

1.2. Problema de pesquisa

As mudanças no uso da terra para produzir alimentos no bioma Pampa, são sustentáveis do ponto de vista do uso dos recursos biofísicos utilizados na produção agropecuária?

1.3 Objetivos

1.3.1 Objetivo geral

O objetivo geral do trabalho é proporcionar uma visão integrada de análise de uso da terra com base em variáveis históricas e princípios da termodinâmica. Assim, examinar efeitos das mudanças do uso da terra no Bioma Pampa, fundamentando-se na produção de alimentos e na sustentabilidade com base na eficiência do uso de recursos utilizados nos principais sistemas de uso da terra:

- 1) Bovinocultura de corte em pastagens naturais;

- 2) Cultura do arroz irrigado, integrado a bovinocultura;
- 3) Cultura da soja, integrada a bovinocultura.

1.3.2 Objetivos específicos

- Quantificar as mudanças no uso de áreas e rendimentos por área, do arroz irrigado no Pampa do Brasil.
- Quantificar as mudanças no uso de áreas e rendimentos por área, da Soja no Pampa do Brasil.
- Quantificar as mudanças no uso de áreas e rendimentos por área, da pecuária desenvolvida em pastagens naturais no Pampa do Brasil.
- Calcular os gastos energéticos de recursos para realizar a produção de carne nos sistemas de pecuária de corte em paisagens naturais do Pampa, durante um ciclo anual.
- Calcular os gastos energéticos de recursos para realizar a produção de soja (verão) e pecuária de corte em pastagens cultivadas, durante um ciclo anual.
- Calcular os gastos energéticos de recursos para realizar a produção de Arroz (verão) e pecuária de corte em pastagens cultivadas, durante um ciclo anual.

1.4 Motivação do estudo e desafios

Evidências que demonstrem aspectos físicos e biológicos, comparando formas de exploração da terra para produzir alimentos, podem compor a discussão tangente a sustentabilidade dos agroecossistemas. Levantamentos regionais e pesquisas com interação interdisciplinar são requeridas para transpor requisitos ligados ao grande número de variáveis que interagem nos agroecossistemas. A oportunidade de participar das discussões que envolvem bens fundamentais a vida e que devem ser valorizados devidamente para que possamos usufruir deles por muito tempo, motiva e desafia a pesquisa científica de todas as partes do mundo, inclusive, a singela pretensa contribuição a seguir.

Minha formação em medicina veterinária tornou mais evidente as minhas limitações envolvendo questões complexas dentro de sistemas de produção, de sustentabilidade na produção de alimentos e uso de recursos biofísicos. Dentro do Programa de Pós-Graduação em Agronegócios – CEPAN, presenciei motivação enfática na busca pela interação entre diferentes áreas do conhecimento científico e

no enfrentamento de grandes desafios para desenvolver pesquisas científicas de natureza multidisciplinar. De posse dos elementos que descrevo acima e motivado no decorrer do período de estudos do doutoramento, procurei amplificar as formas de avaliar os sistemas produtivos, incluindo elementos da ecologia, física, agronomia e zootecnia, conforme descrito neste estudo. Assim, minha trajetória na pós-graduação foi direcionada para as conexões interdisciplinares possíveis, dentro de meus limites para desenvolver o estudo. E a partir da tomada de decisão por um caminho que envolve áreas pouco conhecidas, as dificuldades sobrevêm de maneira direta.

Ressalto que não me tornei expert em nenhuma outra ciência, mas presenciei as dificuldades de enfrentar a interdisciplinaridade em um trabalho científico. Tenho convicção de que a experiência de percorrer outras áreas do conhecimento, enriquece intelectualmente, o pesquisador de sistemas agrícolas de uso da terra. Ainda percebo que os desafios enfrentados pelo agronegócio passam por soluções multifacetadas de difícil acesso, mas fundamentais para entendermos os limites gerenciais no uso das reservas de recursos finitos.

CAPÍTULO 2 - PROCEDIMENTOS DA PESQUISA

2.1. ESTRUTURA DA TESE

A etapa inicial da pesquisa, ocorreu pelo contato com a literatura a respeito do tema do uso e mudança no uso da terra e tão logo, a respeito do tema do uso de recursos na agropecuária. As conexões seguintes retiradas das leituras, me levaram ao campo da sustentabilidade junto ao uso da terra e dos recursos utilizados para produção de alimentos. A tese trata da interligação entre as mudanças no uso da terra e seus efeitos, considerando aspectos da sustentabilidade, ligados aos recursos naturais e outros recursos na produção comercial de alimentos na região do Pampa.

A estrutura principal da pesquisa, foi construída por uma revisão que trata do contexto teórico interdisciplinar envolvido no estudo (capítulo 3), dois artigos científicos (capítulos 4 e 5) e considerações finais (capítulo 6). A contextualização teórica do capítulo 3 e os artigos 4 e 5 da pesquisa, estão interligados a temática central da avaliação da sustentabilidade dentro das principais mudanças no uso da terra, dentro do bioma Pampa, que está contido no território brasileiro. A estrutura geral descrita acima, foi construída para responder ao problema de pesquisa.

O capítulo 3, faz breve revisão de um contexto teórico na busca por bases que pudessem consolidar um arcabouço importante, de diferentes áreas do conhecimento e que pudessem colaborar com os artigos subsequentes. Desta forma, a revisão teórica lida com conceitos envolvidos no uso da terra e na interpretação de sistemas biológicos, formas de valorização de recursos e de sua contabilização, voltando-se para os recursos utilizados na agropecuária.

O capítulo 4 compreende o primeiro artigo da tese, intitulado “Mudanças do Uso da Terra no Bioma Pampa Brasileiro”. O objetivo do artigo é caracterizar as mudanças no bioma Pampa a partir da seleção dos municípios que compõem o bioma e da extração de dados secundários históricos, que foram comparados ao longo de um período histórico de 34 anos. Neste primeiro artigo foi possível destacar a produtividade e a dinâmica do uso da terra, dentro das três principais atividades em uso de extensão de terras na região (Bovinos de Corte, Soja e Arroz), assim como discutir os modelos de sistemas produtivos e o gerenciamento no uso da terra no bioma Pampa. O uso do solo no bioma pampa, já sofreu significativas mudanças e as evidências não mostram tendência de desaceleração na conversão de campos

naturais para lavouras e pastagens cultivadas ou culturas de inverno. Contudo, não tínhamos até então, registros das mudanças no uso da terra, quando colocados em evidência, somente os municípios que compõem o bioma e tão pouco, os efeitos produtivos destas mudanças ocorridas e os efeitos da mudança nos sistemas produtivos como um todo dentro da região.

O capítulo 5 (segundo artigo), avaliou as diferenças nos tipos de recursos que entram e nos produtos de saída, em diferentes atividades de uso da terra. Posteriormente relacionou os tipos de recursos, dentro dos principais índices (quadro 2), em diferentes atividades agropecuárias. Estas análises têm a sua base na Contabilidade Emergética. As principais atividades no uso produtivo da terra na região, com relação a extensão de terras utilizadas, foram identificadas no capítulo 4, e analisadas neste capítulo. As análises utilizaram dados de amostras retiradas em diferentes partes do Pampa. E as entrevistas estruturadas utilizadas para coleta de dados ocorreram durante o ciclo produtivo de um ano. O objetivo deste artigo foi avaliar a sustentabilidade das diferentes atividades de uso da terra sob o olhar da análise emergética dos recursos e sob o olhar da eficiência e gestão do uso de recursos diante das demandas futuras. O ineditismo do exame realizado no capítulo 5 da tese, ressalta os gastos energéticos dos recursos nas atividades em coletas de amostras de propriedades da região. Este levantamento mostra de forma clara por mensuração de valores, as diferenças entre as atividades no que tange aos recursos utilizados na produção agropecuária.

2.2. Coleta e análise de dados

A pesquisa aborda os temas já referidos no início do capítulo 2, com relação ao bioma Pampa (Figura 1). O segundo menor bioma dentro do território brasileiro, o bioma Pampa, sofre pressões das demandas por terras férteis e com isso, vem sendo convertido em lavouras e pastagens cultivadas em quase toda sua extensão pelo território brasileiro.

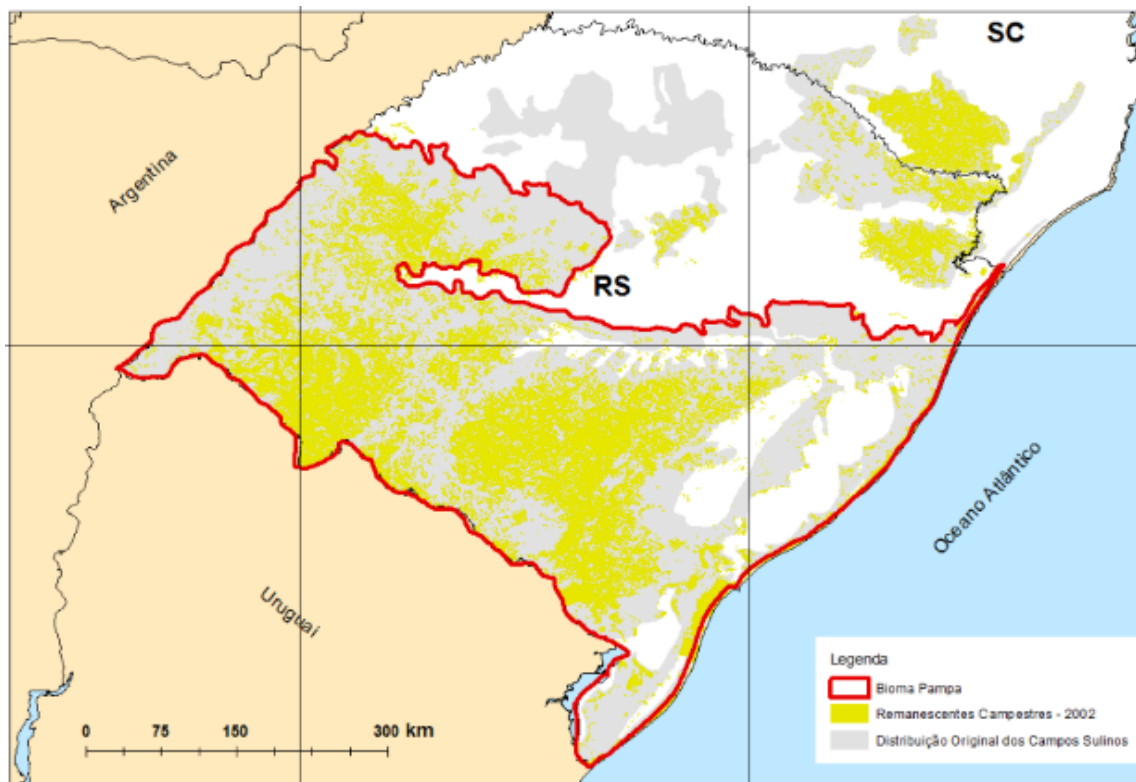


Figura 1 - Bioma Pampa dentro do Rio Grande do Sul

Fonte: IBGE

Os dados utilizados no capítulo 4 da tese (Mudanças do Uso da Terra no Bioma Pampa Brasileiro) foram retirados dos bancos de dados do IBGE e dos registros dos censos agropecuários do IBGE. Depois da análise dos dados disponíveis nos bancos de dados do IBGE, foram escolhidas variáveis que pudessem responder sobre a caracterização das mudanças no uso da terra. As variáveis foram submetidas a um teste ANOVA e analisadas posteriormente.

Ao me inscrever na disciplina de estatística multivariada, dentro do programa de pós-graduação de ecologia, da UFRGS, fui convidado para participar de um projeto de pesquisa onde se estabelecería uma parceria visando uso de dados compartilhados para desenvolver a presente tese e fornecer os insumos necessário ao projeto denominado NEXUS II. Sendo assim, a coleta de dados do capítulo 5 compreendeu parte do projeto Nº 20/2017 - NEXUS II; Pesquisa e Desenvolvimento em Ações Integradas e Sustentáveis para a Garantia da Segurança Hídrica, Energética e Alimentar nos Biomas Pampa, Pantanal e Mata Atlântica. O projeto foi aprovado pelo CNPq no ano de 2017 e tem como coordenador o professor Dr. Valério

De Patta Pillar e como instituição executora a Universidade Federal do Rio Grande do Sul.

O projeto de pesquisa NEXUS II prevê a participação de equipes interdisciplinares nas coletas e análises de dados. Entre os dados da área da produção, coletados do projeto, uma fração foi escolhida para compor o capítulo 5 deste trabalho. Todo o financiamento de viagens, estadia e apoio às entrevistas para a coleta de dados primários utilizados nos cálculos emergéticos, foram fornecidos pelo projeto de pesquisa NEXUS II, do qual fazemos parte e cujo título é: Cenários de conversão da vegetação nativa e a sustentabilidade de agroecossistemas no bioma Pampa. Os dados primários utilizados no capítulo 5 (Impactos Biofísicos da Mudança do Uso da Terra no Bioma Pampa), se referem aos insumos utilizados nas atividades de produção comercial de alimentos durante um ano. Os insumos e os resultados em produtos, foram coletados de três sistemas de uso da terra. Os resultados produtivos foram apresentados em quilos ha^{-1} de produtos comerciais de cada sistema de produção. Os insumos e os produtos transformados, sustentam a análise emergética. A partir dos dados primários de insumos e produtos dos sistemas, os dados foram normalizados para Kg de princípio ativo aplicado ha^{-1} e transformados via transformidade, conforme a metodologia da Emergética.

2.3. Emergia

Os sistemas terrestres se auto organizam, para maximizar o processamento de energia útil e essa transformação de energia que ocorre nos ecossistemas pode ser representada por diagramas de entrada e saída de energia, onde as entradas contém energia de menor qualidade e na medida que o fluxo energético acontece, a energia ganha qualidade, pois requer mais recursos para sua manutenção (ODUM, 1988). Desta forma, explica-se que a maioria dos sistemas possui uma cadeia de transformações de energia e esta cadeia compõe uma hierarquia, onde consumidores que possuem uma ou mais transformações de mais alta energia, estão em posições superiores aos produtores. E assim, o número de fluxos de energia se reduz na medida em que se sobe na cadeia alimentar. Não é correto utilizar a energia como medida de trabalho pois existem outros tipos de energia que não representam trabalho somente. E para colocar em perspectiva diferentes tipos de energia sob a mesma base, Odum (1988) definiu como emergia, a energia de transformações de um fluxo

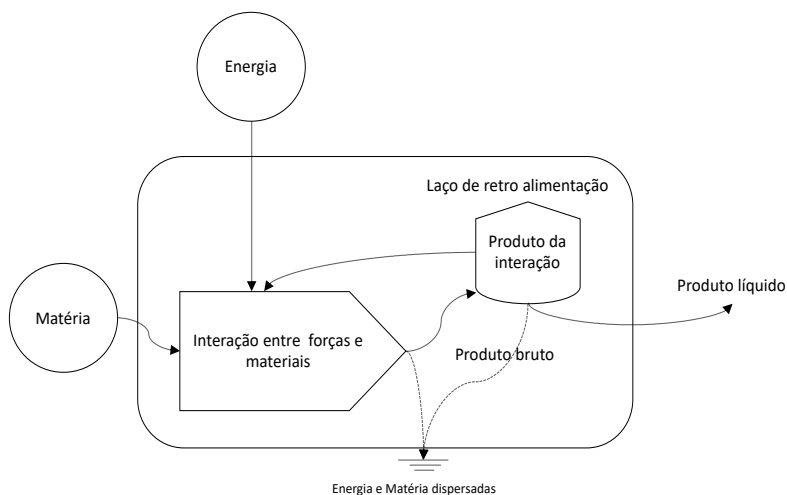
ou de um armazenamento e a unidade utilizada para expressar a Energia foi criada com base em seu paralelo de energia solar necessária para gerar tal fluxo. A unidade utilizada é o emjoule solar ou Sej. Obedecendo o conceito hierárquico da cadeia alimentar, de qualidade da energia armazenada e da termodinâmica, se estabeleceram transformidades solares que são a energia por cada unidade de energia (Emjoules/Joule). Assim, a transformidade solar de cada estágio na cadeia de transformação da energia é representado, inclusive contribuições do meio ambiente e outros recursos. A avaliação emergética é determinada então, pelo conteúdo de energia do enésimo elemento do fluxo estudado, multiplicado pela transformidade solar do enésimo elemento.

Todas as transformações de energia da geobiosfera podem ser organizadas em hierarquia de energia como por exemplo: muitos joules de luz solar são necessários para fazer um joule de matéria orgânica e muitos joules de matéria orgânica seriam necessários para igualar-se a um joule de combustível (BROWN e ULGIATI, 2004). O preceito de Alfred J. Lotka comentado por Ricklefs (2003), descreve os ecossistemas pelas trocas de matéria e energia entre seus componentes. Tais trocas de energia, obedecem a princípios da termodinâmica que regulam as transformações. As transformações de energia dos ecossistemas crescem na medida de seu tamanho, representado pela massa total de organismos que a compõem, e sendo assim, a energia é o combustível de todos os sistemas biológicos. O próprio conceito de ecossistema está estruturado com base nos fluxos de energia necessários para gerar reciclagem de matéria, que proporcionam fundamentos para caracterização da estrutura e funções dos sistemas ecológicos (RICKLEFS, 2003).

A metodologia Emergética propõem medir o valor dos recursos terrestres através de uma base única (energia solar equivalente), que considera tanto o trabalho humano quanto o trabalho da natureza (ORTEGA e BACIC, 2018). O valor-trabalho integral é expresso em Joules de energia solar equivalente (seJ) ou em termos de seu correspondente em dólares (US\$) por unidade de recurso. A energia pode ser definida como a energia potencial, gasta direta e indiretamente na produção de recursos. O cálculo emergético, a partir dos modelos na forma de diagramas, torna evidente as relações entre os processos naturais (figura 2) e econômicos (figura 3), pois considera na produção de determinado bem, todas as entradas e as saídas do sistema envolvido na produção. Para Ortega e Bacic (2018), a metodologia permite

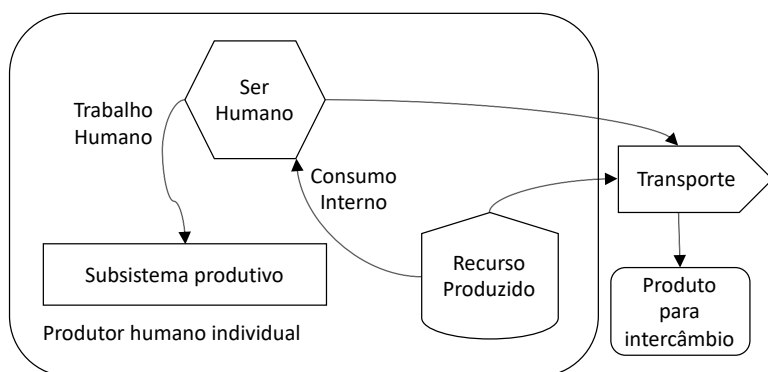
melhorar a compreensão dos ecossistemas e a suas relações com a economia.

Figura 2 – Processo biológico básico



Fonte: Ortega e Biacic (2018).

Figura 3 – Processo econômico simples



Fonte: Ortega e Biacic (2018).

O primeiro passo para realizar a análise emergética é identificar e representar o sistema a ser estudado; identificando os principais fluxos de entrada e de saída dos sistemas (quadro 1). O segundo passo para construir os cálculos na contabilidade emergética é, após a normalização de dados de entradas (inputs) e de saídas (outputs), multiplica-los pelos valores emergéticos (transformidade (sej/Joule), ou razão monetária (sej/\$), ou mesmo a emergência específica (sej/g).

Quadro 1 – Fluxos de entrada e de saída dos sistemas produtivos analisados

	Tipos de Recursos	Sistemas produtivos do Pampa	
		Pecuária em Pastagens Naturais	Lavouras de soja ou Arroz com pastagens cultivadas de inverno
Entradas de recursos nos sistemas	Insumos renováveis da Natureza ('R')	Sol	Sol
	Insumos renováveis da Natureza ('R')	Chuva	Chuva
	Insumos renováveis da Natureza ('R')	Vento	Vento
	Insumos Não Renováveis da Natureza ('N')	Perdas de Solo	Perdas de Solo
	Insumos Não Renováveis da Natureza ('N')	Água de bebida dos animais	Água de pulverizações
	Insumos Não Renováveis da Natureza ('N')	Água de banhos de imersão	Água de irrigação
	Entradas da Economia ('M')	Vacinas	Sementes
	Entradas da Economia ('M')	Ectocidas	Trat.Sementes
	Entradas da Economia ('M')	Endocidas	Adjuvantes
	Entradas da Economia ('M')	Endectocidas	Fertilizantes
	Entradas da Economia ('M')	Energia	Herbicidas
	Entradas da Economia ('M')	Sal comum	Dessecantes
	Entradas da Economia ('M')	Sal mineral	Inseticidas
	Entradas da Economia ('M')	Suplementos	fungicidas
	Entradas da Economia ('M')	Rações	Energia elétrica
	Entradas da Economia ('M')	Combustível	Combustíveis
	Entradas da Economia ('M')	Hormônios	Sementes para Pastagens Inverno
	Entradas da Economia ('M')	-	Inoculantes para sementes de pastagens
	Entradas da Economia ('M')	-	Adubos para Pastagens Inverno
	Entradas da Economia ('M')	-	Combustíveis para Pastagens Inverno
	Serviços da economia ('S')	Mão de Obra não especializada	Mão de Obra não especializada
Serviços da economia ('S')	Mão de Obra especializada	Mão de Obra especializada	
Saídas de produtos dos sistemas	Produtos dos sistemas	Carne	Soja
	Produtos dos sistemas		Arroz
	Produtos dos sistemas		Carne

Fonte: Autor

O último passo na avaliação emergética são os cálculos dos índices emergéticos escolhidos para representar os valores a serem comparados entre os sistemas. Conforme demonstrado no quadro 2.

Quadro 2 – Índices selecionados na avaliação emergética de Agroecossistemas no Pampa

Ano 2019	Unid.	Fórmulas	Descrição
Indicador			
Transformidade solar	seJ/J	$T_r = \frac{Y}{E_p}$	Representa a capacidade de transformar energia que entra no sistema (Sej), em energia de saída em produto (J) (BROWN e ULGIATI., 2004).
Renovabilidade	%	$\%R = \frac{(R + M_r + S_r)}{Y} \cdot 100$	Relação percentual entre a energia dos recursos renováveis sobre a energia total utilizada para produzir no sistema (2) (ORTEGA e BACIC, 2018).
Taxa de Eficiência Emergética		$EYR^* = \frac{Y}{M_n + S_n}$	Relações entre a energia total de entrada no sistema, com a energia do somatório dos insumos não renováveis da economia. Esta formulação foi proposta por (Ortega et al., 2002)
Taxa de Investimento Emergético		$EIR = \frac{M_n + S_n}{R + N + M_r + S_r}$	Representa a contribuição da economia sobre a contribuição da natureza (ORTEGA e BACIC, 2018).
Taxa de Carga Ambiental		$ELR = \frac{(N + M_n + S_n)}{R + M_r + S_r}$	Razão entre o somatório dos valores emergéticos dos recursos não renováveis da economia e da natureza e o somatório dos valores de energia dos recursos renováveis da economia e da natureza (5) (ORTEGA et al., 2002).

Insustentabilidade ambiental para sistemas agrícolas	$EUIas = \frac{ELR}{EYR^*}$	A relação da carga ambiental com a eficiência no uso de recursos não renováveis da economia, (ARTUZO, 2020).
--	-----------------------------	--

2.4. Índice de Eficiência do Sistema (ES)

No capítulo 5, propusemos uma avaliação de eficiência que considera a energia de produtos, juntamente com uma abordagem de recursos biofísicos, que por sua vez, possuem fortes conexões com a ideia de sustentabilidade no uso da terra para a agricultura. Agregamos na análise do índice que quantifica a produção (E_p), a fim de analisar a eficiência do sistema (ES) a partir da equação: $ES = \frac{E_p}{ELR^*}$. O ES possibilita mensurar a quantidade de energia gerada na forma de produto econômico por unidade de carga ambiental. Maiores detalhes são descritos na aplicação do índice, nos diferentes sistemas produtivos amostrados no Pampa, na seção 4.2 do capítulo 5 deste trabalho. Os procedimentos de pesquisa descritos acima, demonstram a necessidade de diferentes bases conceituais, de origem em diversas áreas do conhecimento, no desenvolvimento da pesquisa. Por conta desta característica, apresentam-se no próximo capítulo, alguns elementos conceituais considerados fundamentais.

CAPÍTULO 3 - CONTEXTUALIZAÇÃO TEÓRICA

3.1 INTRODUÇÃO

A teoria neoclássica econômica, entende o crescimento econômico como algo constante e desejável. Dentro de uma discussão tangente a sustentabilidade a questão do crescimento econômico pode ganhar outros contornos, como por exemplo, a ideia do decrescimento planejado com vistas a maior sustentabilidade. Podemos assim, atentar para questões pertinentemente ao crescimento econômico, como: o quanto é possível e em qual medida o decrescimento é inevitável, com vistas a maior sustentabilidade. E quais seriam as consequências destas transformações para o emprego, a produção e as consequências políticas de tais transformações (KALLIS et al., 2012).

Muitos trabalhos, demonstram que o crescimento econômico eleva o uso de recursos utilizados pelo homem. O crescimento econômico da China de mais de 15% ao ano foi acompanhado por aumentos no consumo de energia, água, metais, fosfato e pesca. O crescimento muito mais lento da economia dos EUA consumiu muito menos de todos esses recursos. Devemos considerar a mudança na fabricação e exportação de eletrônicos dos EUA para a China, refletindo em redução no uso de recursos nos EUA e no grande aumento na China (BROWN et al., 2014). Krausmann et al. (2009) confirmam que o ritmo de crescimento industrial é um dos principais impulsionadores das mudanças ambientais globais. Apresentando avaliação do uso de materiais em toda a terra, se demonstrou através de contabilidade de fluxos de materiais, que o uso de combustíveis, minérios e outros materiais entre 1900 e 2005, sofreram aumento de aproximadamente 8 vezes e que a humanidade atualmente utiliza 60 bilhões de toneladas de materiais ao ano. O uso de materiais aumentou a um ritmo mais lento que a economia global, no entanto, mais rápido que a população mundial. E os resultados indicam que um aumento na produtividade acompanhado por aumentos no uso de materiais é uma característica geral do desenvolvimento econômico. As transformações pelas quais os produtos são concebidos e transformados passam pelo mínimo conhecimento e consciência do consumo, desde que os preços sejam compatíveis com as formas de produção e desde que a população tenha condições de arcar com os custos energéticos e monetários (BROWN et al., 2014).

Particularmente na agropecuária as discussões com respeito a intensificação da produção, ou seja, nas formas de transformação, mostram problemas das mais diferentes naturezas. E apesar de muitos estudos estarem voltados para abordagens no campo do uso de recursos e no campo econômico, o custo energético total é ignorado (ODUM, 2001). Grandes áreas de terra têm sido convertidas, transformando os problemas ambientais locais em problemas globais que envolvem grandes aumentos no consumo de energia, água e fertilizantes (FOLEY et al., 2005). E as questões que envolvem o termo sustentabilidade da agricultura são permeadas por várias áreas do conhecimento. Steffen (2015) comenta que a ciência deve fornecer uma análise de riscos a respeito das intervenções humanas sobre a resiliência e estabilidade do sistema terrestre, a fim de estabelecer um espaço operacional seguro na exploração de recursos e no desenvolvimento das sociedades. Algumas das principais ameaças aos sistemas terrestres provem de ações impulsionadas pelo homem, como a conversão da terra, poluição e suas interações (BRADSHAW e BROOK, 2014). A contextualização apresentada a seguir, descreve alguns pontos considerados fundamentais no desenvolvimento da pesquisa, reunindo áreas do conhecimento que demonstram ser complementares na construção da resposta para a questão levantada no problema de pesquisa. Os itens discutidos a seguir, buscam elucidar conceitos e discutir interpretações que serão ativamente trabalhadas ao longo do texto, cujo cerne são as grandes transições de uso da terra e seus efeitos, principalmente com relação aos tipos e quantidades de recursos que são utilizados comparando áreas de transição com áreas naturais em produção de alimentos.

3.2 MUDANÇAS NO USO DA TERRA

As atividades de uso da terra como a conversão de paisagens naturais e as mudanças nas práticas de gestão da terra transformaram grandes porções da superfície terrestre de forma marcante, podendo alterar a qualidade do ar, a temperatura local, as taxas de transporte e deposição de partículas e a transmissão de patógenos e geração de surtos episódicos de zoonoses, ou ainda algum tipo de efeito combinado das alterações descritas (FOLEY et al., 2005). Conclui-se claramente, que ao mesmo tempo em que as práticas modernas de uso do solo aumentam a produção de bens, podem prejudicar serviços ecossistêmicos a longo prazo, em escalas regionais ou globais.

As formas de agricultura praticadas no decorrer dos tempos, em todas as

partes do mundo, refletem um objeto ecológico e econômico. As formas de agricultura e uso da terra variam fortemente conforme o local e podem se transformar sucedendo espécies de agricultura distintas em séries evolutivas nas diferentes partes geográficas do planeta. Os sistemas de cultivo de derrubada e queimada se expandiram conforme aumentava a população e cederam lugar a numerosos sistemas agrários que evoluíram de forma independente uns dos outros (MAZOYER e ROUDART, 2010).

As dinâmicas no uso da terra, estão relacionadas tanto com o desenvolvimento econômico de uma região, quanto com as características ecológicas da paisagem, crescimento populacional, capacidades tecnológicas etc. Regiões podem passar rapidamente de terras selvagens a uma agricultura intensiva ou levar séculos para que ocorram mudanças significativas no uso e nas atividades ligadas ao solo de acordo com contextos de logística, preços e ocupação urbana nas proximidades. As transições de uso podem favorecer, portanto, agriculturas de subsistência, agricultura intensiva, ou até mesmo um retorno as condições naturais de florestas como no caso de Porto Rico que passou de 10% de florestas para 40% de seu território coberto por matas nativas.

As respostas ecossistêmicas às mudanças de uso da terra, são diferentes de acordo com o tipo de ecossistema envolvido mesmo para transições voltadas para usos idênticos. Em latitudes temperadas e boreais pode levar a um resfriamento da superfície local, já em climas tropicais, as mudanças no uso podem levar ao aquecimento da superfície local. A urbanização em locais originalmente de florestas, pode aumentar a probabilidade de enchentes, no entanto a urbanização em locais áridos pode reduzir esse efeito devido ao aumento de locais arborizados (DE FRIES et al., 2004). Os princípios que norteiam as mudanças no uso da terra devem propor decisões que levem em consideração os diferentes ecossistemas e seus elementos particulares, que reagirão de maneira diferente em cada região, de maneira a satisfazer os propósitos de produção de alimentos, fibras e serviços essenciais como o ar puro e água.

No sentido de avaliar diferentes regiões do mundo com relação as práticas agrícolas e uso do solo, Sachs et al. (2010) propuseram um modelo de monitoramento na forma de uma rede global interligada, para que os efeitos da agricultura sobre a natureza pudessem ser avaliados. A proposta envolveria diversos agentes como agricultores, governos, consumidores, corporações não governamentais e instituições

de pesquisa. Primeiramente, seria priorizado o desenvolvimento de métricas (Quadro 1) capazes de analisar efeitos sociais, econômicos e ambientais no uso da terra, para que posteriormente se estabelecessem estratégias de gestão no uso eficiente do recurso, para cada região. Os autores justificam a proposta, alicerçados na ideia de que, as formas correntes de avaliação de práticas agrícolas pelo mundo, capturam apenas alguns efeitos do uso da terra na agricultura e não conseguem amparar uma noção global dos resultados das mudanças empregadas nas atividades agrícolas. E defendem, que monitoramentos e avaliações globais, deveriam ser balizadas notoriamente nos custos e nos benefícios do uso da terra. Contudo, os custos devem expor não somente os custos monetários, mas sociais e naturais, assim como os benefícios poderiam ser expressos em forma de prosperidade, segurança alimentar e etc. Ainda em defesa de um monitoramento mundial de múltiplas variáveis, na aferição de uma agricultura mais sustentável, Sachs et al. (2010), comentam que o uso de biocombustíveis pode parecer uma medida positiva, mas devem ser analisadas as áreas que deixarão de produzir alimentos para suprir o mercado de energia e similarmemente, o aumento dos produtos orgânicos e produzidos ecologicamente, devem ser analisados também sob a ótica da necessidade de aumento de áreas para suprir necessidades, já que a produtividade tende a ser menor, mesmo que o menor uso de defensivos agrícolas seja desejável.

Quadro 3 – Custos e benefícios das práticas de produção na agricultura

Custos e Benefícios das Práticas de produção na Agricultura <i>Exemplos de métricas que se aplicariam em todo o mundo e outros que precisam ser adaptados a ambientes locais e abordagens agrícolas específicas.</i>					
Métricas	Segurança alimentar	Saúde Humana	Prosperidade econômica	Sustentabilidade Ambiental	Bem-estar sociocultural
Universal	<i>Calorias por pessoa</i>	<i>Deficiências de micronutrientes</i>	<i>Taxa de emprego</i>	<i>Emissão de gases de efeito estufa por unidade de produção</i>	<i>Percentual de crianças na escola</i>
Sistemas específicos	<i>Acesso a alimentação</i>	<i>Exposição a agroquímicos</i>	<i>Flutuação dos preços nos produtos agrícolas</i>	<i>Energia, eficiência de uso de nutrientes e água e balanço de entrada-saída</i>	<i>Conhecimento ecológico local</i>

Fonte: Sachs et al. (2010).

Crossman et al. (2013) enfatizam que existem impedimentos ligados às ciências de uso da terra, para que se absorvam de maneira generalizada os serviços ecossistêmicos. Dentre as principais lacunas, citam fatores de dimensões biofísicas e

fatores de dimensões sociais, que utilizam métricas e indicadores não padronizados para quantificar os impactos ocorridos pela mudança de uso da terra. A quantificação de serviços ecossistêmicos ligados às dimensões biofísicas, são altamente dependentes de distribuições espaciais. As mudanças nos sistemas terrestres, tem um efeito direto nos serviços fornecidos pela natureza como manutenção da saúde do solo, mediação da erosão, filtragem de partículas e armazenamento de água. Assim, a oferta de serviços ecossistêmicos é quantificada de duas maneiras considerando a dimensão biofísica: a) Pelo mapeamento do uso da terra, supondo que os serviços ecossistêmicos dependem da forma com que são utilizados os espaços terrestres, tanto no tipo de serviços quanto na quantidade; b) Modelagem de processos biofísicos.

As dimensões sociais colocadas por Crossman et al. (2013), colocam como centrais, às decisões humanas sobre os sistemas terrestres, assim como a interação entre os diferentes atores sociais. Os agentes sociais são os beneficiários dos serviços ecossistêmicos ao longo do espaço e do tempo e mesmo considerando os parâmetros sociais com maior incerteza, esses parâmetros são altamente relevantes em problemas de escala global. Pois aumentos na produção de alimentos, biocombustíveis e fibras, podem fluir e beneficiar comunidades geograficamente distantes enquanto os impactos são sentidos localmente. Portanto a dimensão social da ciência de uso da terra carece de informações sobre a tomada de decisão, utilidade individual e direcionadores como as economias globais e as mudanças demográficas. Para De Fries et al. (2004) as decisões sobre o uso da terra devem ser obtidas com base em valores sociais e o conhecimento ecológico pode fornecer uma base para avaliar os ganhos e as perdas decorrentes de tais decisões.

Foley et al. (2005) examinaram os ecossistemas globais sob o ponto de vista dos mais afetados, considerando o desafio de reduzir os impactos ambientais sobre os ecossistemas, mantendo os benefícios econômicos e sociais. Entre os ecossistemas mais importantes estão: a produção de alimentos, que formam os maiores biomas terrestres com 40% da superfície da terra, os sistemas hídricos e os sistemas florestais. Os autores comentam o aumento no uso de fertilizantes, defensivos químicos e uso de cultivares de alto rendimento, como fatores fundamentais na duplicação da produção de alimentos das últimas quatro décadas, apesar de um aumento de 12% na área de cultivo. Em contrapartida, uma área de aproximadamente 1,5 milhões de hectares de terras irrigadas, foram perdidas por

salinização e aproximadamente 40% das terras cultivadas sofrem em algum grau, com perdas de solo por erosão. Por consequência do aumento no uso de fertilizantes e perdas de solo, a água doce consumida no planeta, reduziu de qualidade em muitas regiões. A agricultura consome aproximadamente 85% do total global de água consumida pela humanidade. A exemplo, a bacia do Rio Tocantins no Brasil, teve um aumento de descarga de aproximadamente 25% (entre 1960 e 1995), por conta de maiores escoamentos superficiais, causados provavelmente pela menor cobertura de vegetação natural, pois não houve aumento significativo nas precipitações do período. E associado aos problemas de tratamento dos recursos hídricos nas zonas urbanas, permeiam os problemas de excesso de nitrogênio e fósforo nas fontes e rios. Na medida em que a agricultura avança em áreas antes não exploradas e sem o devido planejamento, existe uma tendência de surgirem mais problemas de desequilíbrio ambiental e por consequência, perdas de produção.

A adição de novas áreas com propósito agrícola, evidencia a necessidade de planejamento nas decisões de uso da terra conforme região geográfica. E as políticas locais e nacionais podem considerar o uso da terra em programas de gestão de recursos naturais de acordo com estudos de uso dos solos. Os solos representam um dos sistemas de biomateriais mais complexos que se conhece, pois operam nas inúmeras interfaces da litosfera, biosfera, hidrosfera e atmosfera segundo Adhikari e Hartemink (2016). Daily (2000) comenta que os solos e o tipo de uso a que são destinados, são componentes importantes na economia de uma nação e a inclusão de políticas de uso do solo em estruturas que administrem os serviços ecossistêmicos representam fator fundamental de equilíbrio entre o bem-estar e o desenvolvimento socioeconômico dos países.

Adhikari e Hartemink (2016) descreveram a respeito do uso do solo, tratando especificamente de suas relações com os Serviços ecossistêmicos (SE), sugerindo que as pesquisas em SE, relacionadas aos solos, não se limitem ao sequestro de carbono e explorem outras propriedades funcionais da biota e aspectos espaciais que podem compor SE prestados pela terra. A purificação da água, manutenção de um pool genético e a regulação no clima foram citados como exemplo da importância do solo nos SE. Os aspectos espaciais e as dinâmicas de uso do solo têm sido estudados por meio de informações indiretas, como o uso de modelos para avaliação do tipo de cobertura e utilização ao longo do tempo (Pedometria), assim como, modelos de projeção futura, principalmente em regiões onde os dados diretos são escassos. Os

autores manifestam que a contribuição dos solos para o bem-estar humano vai além da produção de alimentos e isso deve ser incorporado a um conjunto de Serviços Ecosistêmicos. A maior parte dos países do mundo, utilizam entre 20 e 30% de seu território com o cultivo. Os países da União Europeia utilizam entre 45% e 65% de seu território com agricultura, os Estados Unidos e China em torno de 18% e a Índia utiliza 60% do seu território com lavouras para produção de alimento. No Brasil o uso da terra com finalidade agrícola chega a 9% do território do país, ocupando o 5º lugar em área absoluta de cultivos no mundo (EMBRAPA, 2017). Foley et al. (2005) concluem que a resiliência em diferentes práticas de uso da terra deve ser melhor avaliada, utilizando estratégias onde se conjuguem os benefícios ambientais, sociais e econômicos, com aumento de produção por unidade de área terrestre, incluindo eficiência em uso de fertilizantes, uso de água e manutenção das condições ótimas de matéria orgânica do solo. O aumento de áreas verdes urbanas e o uso de sistemas agroflorestais também devem compor um conjunto de estratégias que necessitam de pesquisas interdisciplinares para que a manutenção da biosfera se mantenha a longo prazo.

Discussões em torno do uso do solo, voltadas a uma exploração eficiente que respeite sua aptidão, a fim de obter os melhores resultados produtivos a longo prazo, concomitantemente a manutenção dos recursos naturais, envolvem inúmeros sistemas biológicos. Entre eles, os ciclos hídricos, a fertilidade, manutenção de uma biodiversidade de plantas e animais que estão em um mesmo ambiente ecológico e que fazem parte de sistemas maiores como as bacias hidrográficas e no limite o sistema terrestre como um todo. Desta forma, as decisões tangentes ao uso da terra devem passar por avaliações de sistemas naturais (biológicos) que se inter-relacionam em um equilíbrio dinâmico constante. A ocorrência de diferentes tipos de uso da terra ocorre de maneira distinta de acordo com a região geográfica e as condições socioeconômicas encontradas, formando conjuntos complexos que podem ser nomeados de sistemas de uso do solo.

As formas de agricultura observáveis, podem ser concebidas como sistemas complexos compostos por subsistemas biológicos e sociais (MAZOIER e ROUDART, 2010).

3.3 SISTEMAS BIOLÓGICOS

Um sistema pode ser definido como uma interação complexa de elementos. O

estudo de sistemas aborda as inter-relações de elementos que se combinam em interações dinâmicas ou lineares dentro de um conjunto de interdependência. A concepção de pontos de vista gerais a respeito da teoria dos sistemas surge em várias disciplinas da ciência moderna procurando explicar o que se chama de “totalidade”, inspirando-se nos inúmeros resultados de sistemas que não se mostram inteligíveis durante a investigação de suas partes isoladas. Nesta linha de raciocínio, Bertalanffy (2013) postula que existem leis gerais que se aplicam a qualquer sistema independentemente das propriedades específicas destes complexos.

Os sistemas podem ser abertos, variando seu desenvolvimento independentemente de seu estado inicial ou fechados, onde seu estado inicial é fundamental na sequência de eventos. Alguns princípios gerais podem ser aplicados a todos os sistemas existentes, entre eles, a retroação, e o estado de adaptação. A retroação mostra a capacidade de componentes do sistema em infligir efeito sobre outros componentes e também sofrer ação desses mesmos componentes afetados, o fenômeno pode ser nomeado também por retroalimentação. O estado de adaptação chamado de comportamento adaptativo é definido dentro das generalizações para sistemas e consiste em funções que ao passarem por determinado valor crítico saltam para novos patamares de resposta aos mesmos “estímulos”. Partindo deste princípio, sistemas podem ser mostrar em equilíbrio cíclico, orientados por flutuações e mudanças em seus subsistemas (BERTALANFFY, 2013).

Odum (2001), sustenta que os organismos vivos estão intimamente ligados ao ambiente inerte (abiótico) que os cerca e as interações entre ambiente e organismos ocorrem constantemente. Qualquer comunidade em determinado espaço geográfico, interagindo com o ambiente físico (totalidade), por meio de fluxos de energia que conduzam a uma estrutura trófica, a uma diversidade biótica, e a troca de materiais entre partes vivas e não vivas, é um sistema ecológico, ou um ecossistema. Um ecossistema, portanto, é composto por:

- Substâncias inorgânicas (C, N, CO₂, H₂O, etc.).
- Compostos orgânicos (Proteínas, Lipídios, etc.).
- Regime climático.
- Produtores (organismos autotróficos em grande parte plantas).
- Macroconsumidores e Microconsumidores heterotróficos.

A atuação da ecologia, tem como base fundamental, as relações dos níveis dos sistemas com os indivíduos. As comunidades (considerando populações macro e microscópicas) e o ambiente inerte, funcionam juntos, formando um sistema ecológico ou ecossistema. O maior sistema ecológico existente, que por sua vez, é o sistema que mais se aproxima da autossuficiência, é designado de Biosfera (sistema que inclui todos os organismos da terra, interagindo em um mesmo sistema). As interações que acontecem na Biosfera (comunidades e ambiente físico) mantêm um fluxo de energia constante que é regido pela diferença entre a quantidade de energia solar que é absorvida e a energia que é dissipada no espaço (ODUM, 2001).

A palavra ecologia deriva da palavra grega “*oikos*”, traduzida como, “casa ou o lugar onde se vive”, em um sentido mais amplo, se traduz como o estudo do lugar onde se vive, tratando, portanto, das relações entre organismos vivos e o ambiente, considerando que o homem faz parte deste mesmo conjunto (ODUM, 2001). Como a ecologia representa um ramo da biologia, ela contém inúmeros ramos taxonômicos que podem ser considerados nos mais variados estudos e explorações, utilizando diferentes níveis de organização e perspectivas de acordo com o interesse de estudo. Neste mesmo sentido, a combinação entre níveis e entre os elementos da ecologia, formam sistemas (Figura 4) que interagem e são interdependentes nos sistemas de indivíduos e entre sistemas maiores.

Pelo conceito que se desenha na figura 3, pode-se verificar, que existem sistemas biológicos menores, que se incorporam a sistemas maiores. E uma homeostasia se constrói na medida em que sistemas biológicos menores funcionam dentro de sistemas maiores, não havendo nenhuma razão para supor que estudos em diferentes níveis de sistemas ecológicos não possam se realizar.

Odum (2001) comenta que mecanismos homeostáticos integram estes sistemas menores para que possam compor outros tipos de sistemas de maior dimensão. E esse fenômeno ocorre nos diversos níveis dos sistemas vivos. Na mesma linha, o autor comenta que, pode-se inferir que estudos com base em unidades de sistemas menores podem colaborar para o entendimento de sistemas maiores, mesmo que não possam explicá-los totalmente. Existem inter-relações, expressas na forma de interdependência entre seres vivos, que não podem ser isolados, pois um organismo individual não sobrevive sem uma comunidade; como um órgão, que não pode subsistir como uma unidade, exonerando-se do organismo que ele compõe. De forma semelhante, as comunidades não sobrevivem sem a

circulação de materiais e de energia no ecossistema, conforme demonstrado na figura 3.

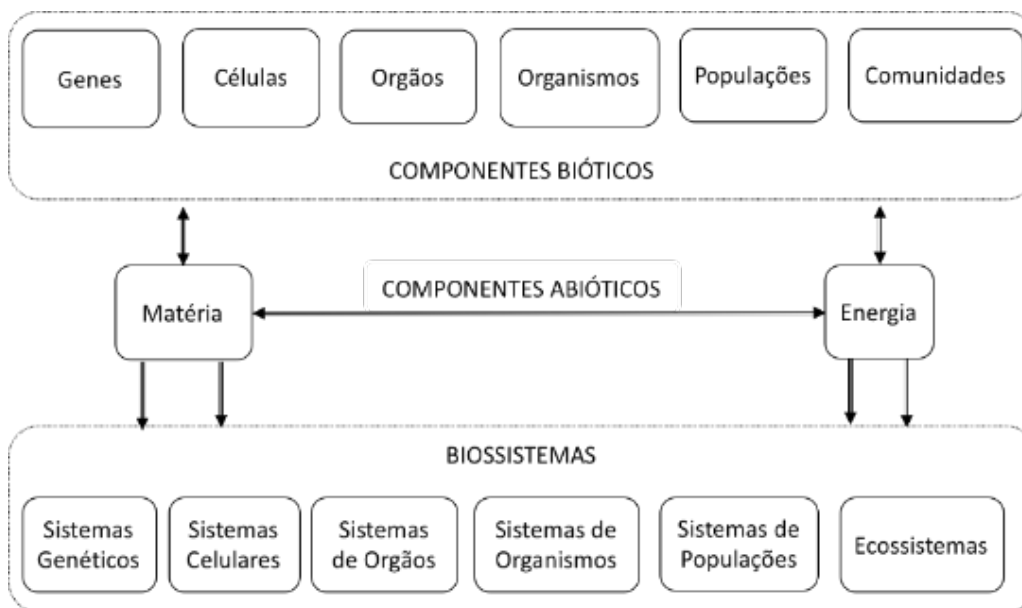


Figura 3 – Representação sistemática de sistemas biológicos terrestres
Fonte: Odum (2001).

Os ecossistemas aquáticos e terrestres dissipam a grande maioria da energia solar, grande parte desta energia emitida pelo sol é desperdiçada pela evaporação e menos de 5% é fixada pela fotossíntese (ODUM, 2001). O exemplo demonstra que a energia em sua grande maioria retorna ao espaço, estabelecendo um fluxo dinâmico de entrada e saída. As trocas de energia que os ecossistemas realizam, são capazes de regular a temperatura na superfície terrestre e são fundamentais na manutenção de temperaturas favoráveis a manutenção da vida no planeta. Os sistemas ecológicos interagem produzindo efeitos favoráveis à renovação dos ciclos biológicos, que beneficiam todos os seres vivos, incluindo o homem. Diferentes tipos de sistemas ecológicos podem existir de acordo com as condições naturais. Uma forma de classificar regiões com semelhanças de vegetação, clima, relevo e solo, é classificá-los em biomas.

3.4 BIOMAS

A superfície da terra possui uma variação complexa em sua cobertura. Mudanças na superfície terrestre podem ter consequências importantes com relação aos recursos disponíveis e com relação ao bem-estar da humanidade. Os biomas

representam a unidade básica de análise e organização das variações que ocorrem na cobertura da superfície terrestre e por isso são importantes para organizar o conhecimento a respeito dos ecossistemas. Contudo, o conceito dos biomas deve considerar as formações históricas nos modelos de previsão e evolução, para melhor prever sua distribuição futura (MONCRIEFF et al., 2016). Nos modelos tradicionais a produtividade primária bruta, as perdas respiratórias, a reprodução, a mortalidade e as interações entre plantas, são incorporados em modelos que projetam a trajetória de um bioma ao longo do tempo e do espaço, nos modelos chamados de Modelos de Vegetação Global Dinâmica (DGVMs). Os Biomas são delimitados com base nos tipos funcionais de plantas com relação a dominância e combinação destas.

Moncrieff et al. (2016) comentam que em grandes escalas, a vegetação da terra reage ao clima, alterando a hidrologia e a partição de calor, enquanto que, em microrregiões, a presença dos biomas alteram as disponibilidades de vento, temperatura e umidade, assim como as propriedades físicas, químicas e biológicas do solo. E além de impactar em clima e solo, as próprias plantas constroem atributos do ecossistema, que são relevantes para o funcionamento das plantas.

Em sua derivação linguística do grego, “Bio” significa vida e “Oma” refere-se a grupos, ou seja, um grupo vivo. Um bioma é um espaço geográfico que pode atingir grandes dimensões, representado por um ambiente uniforme em composição, que seja identificado e classificado de acordo com o clima, a formação vegetal, a formação do solo, fauna e a altitude. Ao longo do tempo, as plantas que colonizaram diferentes partes do planeta, adquiriram formas de vida variadas de acordo proporção, densidade, caducidade foliar, entre outras características. As características gerais de uma paisagem formadora de um bioma é a fitofisionomia; a impressão causada pela vegetação ao se observar (COUTINHO, 2006).

Shimper (1903) conceituou um bioma como sendo resultado de clima semelhante que modela seleção de plantas independentemente das diferenças históricas.

O IBGE caracteriza um bioma como:

“Conjunto de vida (vegetal e animal) definida pelo agrupamento de tipos de vegetação contíguos e identificáveis em escala regional, com condições geoclimáticas similares e história compartilhada de mudanças, resultando em uma diversidade biológica própria (IBGE, 2004)”.

O Brasil é formado por seis biomas; Amazônico, Caatinga, Cerrado, Mata

Atlântica, Pampa e Pantanal. Cada bioma apresenta diferentes características de vegetação e de fauna representando uma das maiores biodiversidades da terra (MMA, 2018).

Diante da suposição de que aumentos na demanda mundial por alimentos e outras demandas de uso do espaço, podem atingir os biomas terrestres, substituindo áreas naturais pela agricultura, urbanização e meios de transporte, podemos supor que haverá alterações nos serviços que esses ecossistemas prestam. Diante do quadro de transformações, muitos estudos avaliando a valorização destes biomas e dos serviços por eles prestados, podem ajudar a esclarecer a importância de avaliarmos as decisões do uso e transformação de ambientes naturais.

O valor dos benefícios da preservação dos serviços que um ecossistema (bioma) transfere para todos os seres vivos não é facilmente percebido pelo homem e talvez, numa composição de fatores que interferem na tomada de decisão no uso da terra por parte de agricultores, não tenha o peso adequado, até que esta valoração, fique mais clara para toda a sociedade (COSTANZA et al., 2015).

Quantificar os benefícios diretos e indiretos prestados pelos biomas, pode apontar para novas formas de decidir pelo uso da terra e até as formas como a economia interpreta questões de benefício e bem-estar dos indivíduos. Frente a importância de elementos que possam primeiramente quantificar recursos, discute-se, na seção seguinte, perspectivas para tratar dos bens e serviços físicos e biológicos oferecidos pela natureza e também pela combinação de ações do homem com a natureza ou seja, através da Bioeconomia.

3.5 BIOECONOMIA

Frederick Soddy, talvez tenha sido um dos primeiros cientistas sociais a traçar paralelo entre as fronteiras da economia e das ciências sociais, em uma constatação de que a economia não pode, por si só, representar as abordagens importantes para o homem e para a natureza. A energia deve ser considerada em todas as formas de ética e nas convenções humanas e não deveremos em qualquer situação contrariar ou negligenciar a termodinâmica. Pois, a direção dos fluxos de energia, não podem ser modificadas, assim como os rios correm para o mar (SODDY, 1922). A sua visão de economia estava vislumbrando cenários de coerência da economia com a energia utilizada para gerar vida e manter os processos essenciais ao homem.

Dentre os principais precursores dos conceitos voltados ao campo

multidisciplinar da ciência chamada Bioeconomia, está o matemático e economista, Nicholas Georgescu-Roegen, com sua obra, “*A Lei da Entropia e os Processos Econômicos*” (The entropy Law and the Economic Process) de 1971.

O termo, Bioeconomics foi utilizado por Georgescu-Roegen primeiramente em 1977. E também podemos chamar, Bioeconomics pelo seu sinônimo, Economia Ecológica (BARROS e NETO, 2007).

O artigo de Georgescu-Roegen; “Inequality, Limits and Growth From a Bioeconomic Viewpoint” (1977), discute as dificuldades em projetar sistemas econômicos que promovam maior igualdade entre os diferentes extratos sociais dos países e entre os diferentes países do mundo. E propõem que a abordagem do problema se baseia em trocas econômicas, ou seja, a busca pelas soluções para desigualdade, encontram-se exclusivamente nas transferências financeiras, enquanto a abordagem deveria ser Bioeconômica. Pois o problema é também biológico, uma vez que trata de recursos naturais, sua localização e sua distribuição desigual.

“I also submit that the solution of tensions of all sorts that exist now in the world and those of a still graver nature that await us in the near future require an entirely different approach than that of standard economics, which insists on relying on the price mechanism and financial transfers exclusively. The new approach, as I have proposed to call it, is Bioeconomics. The term is intended to make us bear in mind continuously the biological origin of the economic process and thus spotlight the problem of mankind’s existence with a limited store of accessible resources, unevenly located and unequally appropriated (GEORGESCU-ROEGEN, 1977)”.

Os resultados dos avanços em ciências ambientais, sensoriamento remoto global e outros sistemas de monitoramento, mostram que é possível uma avaliação mais abrangente da deterioração ambiental local e global. As evidências estão se acumulando com relação à aceleração da perda de florestas tropicais vitais, extinção de espécies, esgotamento das marinhas oceânicas, escassez de água doce em algumas áreas e aumento da inundação em outras, erosão do solo, esgotamento e poluição de aquíferos subterrâneos, decréscimos em quantidade e qualidade de irrigação e água potável, e crescente poluição global da atmosfera e dos oceanos, mesmo nas regiões polares (COSTANZA et al., 2015).

O primeiro elemento fundamental na abordagem de Georgescu-Roegen,

discute a evolução humana a partir do ponto em que deixou de ser baseada em princípios biológicos e passou a ter suas bases em energia externa somada a recursos econômicos descartáveis. Propõe então, que a economia tem bases biológicas fortes e que deve ser considerada conjuntamente com a biofísica, com os recursos energéticos e minerais distribuídos de maneira desigual. O outro pilar das ideias de Georgescu-Roegen está baseado na troca da forma pela qual se discute economia. Para ele, discussões vagas em torno de raciocínios matemáticos não seriam tão frutíferas quanto o entendimento dos fatos econômicos históricos. Para Georgescu-Roegen o consumo de energia e recursos, assim como sua distribuição, devem considerar a quantidade energética que foi gasta para que os recursos cheguem até as pessoas após as transformações tecnológicas e não simplesmente os resultados após a transformação. A proposta de avaliar a qualidade das transformações de materiais abrange tanto a produção de alimentos no campo, quanto a avaliação das transformações em unidades de manufatura de recursos. Como uma reciclagem completa não é possível, o autor propõe como principal ferramenta de avaliação destas transformações as leis da termodinâmica que se relacionam a entropia e dissipação de energia. A abordagem formatada por Georgescu-Roegen incorpora a termodinâmica na biologia e transforma a forma de análise através de trocas monetárias em uma análise de trocas energéticas de transformação e manutenção dos sistemas que permitem a vida na terra. Uma vez que o sistema terrestre é analisado como objeto que capta energia externa, transforma-a, e perde parte desta energia que se torna irrecuperável. As descrições acima, tratam da segunda lei da termodinâmica surgiu dos experimentos de Carnot, com máquinas a vapor e seu reconhecimento de que era impossível converter todo o calor em trabalho. Proops (1989) extraiu da economia ecológica, os seus desafios éticos políticos e científicos, propondo duas vertentes fundamentais do campo de estudos, que não estão isolados um do outro; as vertentes ligadas ao uso de recursos e as vertentes ligadas a geração de poluição. E Costanza et al. (2015) afirmam que o PIB e outras medidas correntes de contabilização do rendimento nacional são notórios sobre ponderação de transações de mercado, mas não pela atenuação do esgotamento de recursos. Em 1988 H. T. Odum escreveu em seu artigo “Self-Organization, Transformity, and Information” que desde 1955 havia voltado seus estudos para encontrar o essencial da auto-organização dos ecossistemas desenvolvendo mais tarde um sistema de contabilidade ambiental, cuja unidade principal, a Emergia, está baseada nos fluxos

de energia e de sua transformação dentro de hierarquias naturais nos sistemas físicos e biológicos.

A energia vem sendo usada como abordagem para analisar a sustentabilidade de sistemas produtivos (AMIRI et al., 2021; ARTUZO, 2020). Explorar os sistemas produtivos agropecuários, com objetivo de avaliar a sustentabilidade, envolvendo mensurações quantificadas de recursos utilizados na produção de alimentos, em uma região, parecem conectar a metodologia emergética de maneira adequada ao quadro proposto na pesquisa.

3.6 SUSTENTABILIDADE AGRÍCOLA

O início da trajetória do conceito, sustentabilidade, ocorreu entre 1972 (Conferência de Estocolmo) a 1992 (Conferência do clima Rio 1992) onde as dimensões econômicas e sociais se unem a pegada ambiental, diante da percepção da finitude de recursos naturais (SHARMA, SHARMA, 2019). A agricultura sustentável, é um conceito holístico de agricultura, que ajuda a atender às necessidades da geração atual sem afetar a geração futura. Ajuda a manter a produção de safras ideais, com manutenção da saúde do solo, conservação dos recursos naturais e preservação do equilíbrio ecológico e da biodiversidade em agroecossistemas. A sustentabilidade no meio agrícola, começa a ser discutida com maior ênfase a partir das décadas de 50 a 60. Contudo, registros históricos remontam sobre a ideia muito antes, na Grécia antiga, na China e Roma (PRETY, 2008). A sustentabilidade em sistemas agrícolas utiliza conceitos de resiliência, persistência e resultados econômicos, sociais e ambientais muito amplos e atuando conjuntamente. A sustentabilidade no uso de recursos naturais, representa a forma de exploração desses recursos, que permitirá a continuidade da existência humana na terra. A agricultura é fundamental para os pilares da sustentabilidade e portanto, é necessário desenvolver formas de agricultura não somente produtivas, mas compatíveis com a saúde e resiliência dos ecossistemas. Contudo, a forma de avaliação sistêmica de impactos da agricultura sobre a sustentabilidade, ainda não possui um consenso científico, impossibilitando avaliações de tendências futuras de maneira mais sólida (LEVY, LUBELL, McROBERTS, 2018).

Algumas técnicas tornaram-se exemplos de medidas de sustentabilidade, embora nenhuma delas represente o conceito em sua amplitude. A aplicação do sistema de plantio direto nas lavouras, inicialmente no Cerrado brasileiro, é um exemplo de

aplicação prática de sistemas mais sustentáveis que poupam recursos naturais. E ainda que, os sistemas de plantio direto apresentem limitações, contribuíram fortemente no aumento da sustentabilidade da agricultura no Brasil (OFSTEHAGE; NEHRING, 2021).

A agricultura de conservação tem se tornado mais evidente nas últimas décadas, como uma forma de intensificação sustentável, indicando um conjunto de princípios a serem adotados na busca por maior sustentabilidade nos sistemas agrícolas (JAT, et al., 2020).

Analisando três diferentes sistemas de produção no bioma Pampa, por meio de indicadores do uso de recursos naturais que revelam o grau de sustentabilidade se concluiu que entre sistemas pecuários em sistemas de pastoreio apresentam maior sustentabilidade geral entre sistemas intensivos de pecuária e sistemas Lavoura-pecuária, constituindo sumidouros de carbono. Contudo, diferenças importantes na esfera social e econômica em desfavor de sistemas pecuários tradicionais foram encontradas, constituindo um importante dilema da região avaliada (VIANA *et al.*, 2021).

A diversificação nas culturas é um indicador importante na segurança alimentar da humanidade, apontando a estabilidade maior, quando existe mais diversidade de cultivo e, portanto, algum ganho em sustentabilidade da agricultura nacional (RENARD e TILMAN, 2019).

Difícilmente a população mundial se reduzirá a ponto de gerar algum impacto positivo no consumo de recursos e na pressão sobre o meio ambiente até 2100. Resultados de aumento na sustentabilidade, no curto prazo, podem ocorrer por meio de tecnologias que economizem recursos naturais (BRADSHAW e BROOK, 2014).

As tecnologias de informação e comunicação exercem papel fundamental na agricultura mais sustentável, onde as emissões de gases e o melhor aproveitamento de recursos é buscado (ZAMAN, 2020).

Os pilares resultantes no conceito de sustentabilidade, aplicados a agricultura, não parecem facilmente detectáveis e mensuráveis. Portanto não é uma tarefa trivial, apontar para uma direção concretamente sustentável. O longo prazo está envolvido no difícil cálculo da sustentabilidade, o que deixa a equação mais complexa.

3.7 CONSIDERAÇÕES FINAIS

As evidências de que a economia ecológica (Bioeconomia) se assenta como

um denominador comum às análises de sustentabilidade que abrangem a Bioeconomy em diversas formas de abordagem (economia circular, análises de ciclo de vida, pegada ecológica, pegada hídrica, reciclagem de materiais etc.) estão no princípio de que os recursos são extraídos, transformados, utilizados e devolvidos ao mesmo meio, em maior ou menor intensidade na medida do tempo.

Conhecer os impactos através de medições de reconhecimento dos recursos que são utilizados para produzir alimentos, pode representar um passo importante para estabilidade e garantia de produção a longo prazo, pois os principais tomadores de decisão (proprietários/produtores rurais) poderão considerar um número maior de elementos em torno da contribuição de sua atividade para sociedade.

REFERÊNCIAS

AMIRI, Z. et al. Conservation agriculture, a selective model based on emergy analysis for sustainable production of shallot as a medicinal-industrial plant. **Journal of Cleaner Production**, v. 292, 2021. ISSN 09596526.

ADHIKARI, K.; HARTEMINK, A. E. Linking soils to ecosystem services — A global review. **Geoderma**, v. 262, p. 101-111, 2016.

ARTUZO, F. D. et al. Emergy unsustainability index for agricultural systems assessment: A proposal based on the laws of thermodynamics. **Sci Total Environ**, p. 143524, Nov 14 2020. ISSN 1879-1026 (Electronic) 0048-9697 (Linking). Disponível em: < <https://www.ncbi.nlm.nih.gov/pubmed/33248781> >.

BARROS, G. S. A. D. C.; NETO, R. M. A “velha” e a nova bioeconomia. Desafios para o desenvolvimento sustentável. **Review of Social Economy**. Piracicaba: ESALQ. 3: 361-375 p. 2007.

BERTALANFFY, L. V. **Teoria Geral dos Sistemas: Fundamentos desenvolvimento e Aplicações**. 7ª. Petrópolis, RJ: Vozes, 2013. 360 ISBN 978-85-326-3690-4.

BRADSHAW, C. J.; BROOK, B. W. Human population reduction is not a quick fix for environmental problems. **Proc Natl Acad Sci U S A**, v. 111, n. 46, p. 16610-5, Nov 18 2014. ISSN 1091-6490 (Electronic) 0027-8424 (Linking). Disponível em: <<https://www.ncbi.nlm.nih.gov/pubmed/25349398> >.

BROWN, J. H. et al. Macroecology Meets Macroeconomics: Resource Scarcity and Global Sustainability. **Ecol Eng**, v. 65, p. 24-32, Apr 01 2014.

COSTANZA, R. et al. **An Introduction to Ecological Economics**. 2º. CRC, 2015. ISBN 9781420012675

COUTINHO, L. M. O conceito de Bioma. **Acta Botânica Brasil**, v. 20, n. 1, p. 1-11, 2006.

CROSSMAN, N. D. et al. Land science contributions to ecosystem services. **Environmental Sustainability**, v. 5, n. 5, p. 509-514, 2013.

DEFRIES, R. S.; FOLEY, J. A.; ASNER, G. P. **Land-use Choices: Balancing Human Needs and Ecosystem Function**. *Front. Ecological Environment*, v. 2, n. 5, p. 249-257, 2004.

EMBRAPA. **NASA Confirma Dados da Embrapa Sobre área Plantada no Brasil**. NOTÍCIAS. Brasília-DF: MAPA: 2 p. 2017.

FOLEY, J. A. et al. Global consequences of land use. **Science**, v. 309, n. 5734, p. 570-4, Jul 22 2005. ISSN 1095-9203.

GEORGESCU-ROEGEN, N. Inequality, Limits and Growth from a Bioeconomic

Viewpoint. **Review of Social Economy**, v. 35, n. 3, p. 361-375, 1977.

IBGE. **Vocabulário Básico de Recursos Naturais e Meio Ambiente**. 2. Ed. Rio de Janeiro: Instituto brasileiro de Geografia e Estatística, 2004.

JAT, M. L. et al. Conservation agriculture for sustainable intensification in South Asia. **Nature Sustainability**, v. 3, n. 4, p. 336-343, 2020. ISSN 2398-9629.

KALLIS, G.; KERSCHNER, C.; MARTINEZ-ALIER, J. The economics of degrowth. **Ecological Economics**, v. 84, p. 172-180, 2012.

KRAUSMANN, F. et al. Growth in Global Material use, GDP and Population During the 20th Century. **Ecological Economics**, v. 68, p. 2696-2705, 2009.

LEVY, M. A.; LUBELL, M. N.; MCROBERTS, N. The structure of mental models of sustainable agriculture. **Nature Sustainability**, Articles, 1, n. 8, p. 413-420, 2018.

MMA. **Biomass**. 2018. Disponível em: < <http://www.mma.gov.br/biomass.html> >. Acesso em: 04/08/2021.

MONCRIEFF, G. R.; BOND, W. J.; HIGGINS, S. I. Revising the biome concept for understanding and predicting global change impacts. **Journal of Biogeography**, v. 43, n. 5, p. 863-873, 2016.

MAZOYER, M.; ROUDART, L. **História das Agriculturas no Mundo: do Neolítico à Crise Contemporânea**. São Paulo: UNESP, 2010. 568

ODUM, E. P. **Fundamentos de Ecologia**. 6°. São Paulo: Fundação Calouste Gulbenkian, 2001. ISBN 972310158X.

ODUM, H. T. Self-Organization, Transformity, and Information. **Science**, v. 242, n. 4882, p. 1132-1139, 1988.

OFSTEHAGE, A.; NEHRING, R. No-till agriculture and the deception of sustainability in Brazil. **International Journal of Agricultural Sustainability**, v. 19, n. 3-4, p. 335-348, 2021. ISSN 1473-5903 1747-762X.

PRETTY, J. Agricultural sustainability: concepts, principles and evidence. **Philos Trans R Soc Lond B Biol Sci**, 363, n. 1491, p. 447-465, Feb 12 2008.

PROOPS, J. L. R. Ecological Economics: Rationale and Problem Areas. **Ecological Economics**, v. 1, p. 59-76, 1989.

ROSER, M.; RITCHIE, H. **Yields and Land Use in Agriculture**. 25/09/2018. Disponível em: < <https://ourworldindata.org/yields-and-land-use-in-agriculture> >.

RENARD, D.; TILMAN, D. National food production stabilized by crop diversity. **Nature**, v. 571, n. 7764, p. 257-260, Jul 2019. ISSN 1476-4687 (Electronic) 0028-0836 (Linking). Disponível em: < <https://www.ncbi.nlm.nih.gov/pubmed/31217589> >.

SACHS, J. et al. Monitoring the world's agriculture. **Nature**, v. 466, n. 7306, p. 558-60, Jul 29 2010.

SHARMA, R.; T, A.; SHARMA, R. Sustainable agriculture: Trends and opportunities for 21st Century. **Journal of Applied and Natural Science**, v. 11, n. 3, p. 666-672, 2019. ISSN 2231-520 0974-9411.

SCHIMPER, A. F. W. Plant-geography upon a physiological basis. **Clarendon Press**, Oxford. 1903.

SODDY, F. **Cartesian Economics: The Bearing of Physical Science Upon State Stewardship**. London: Columbia University, 1922.

STEFFEN, W. et al. Sustainability. Planetary boundaries: guiding human development on a changing planet. **Science**, v. 347, n. 6223, p. 1259855, Feb 13 2015. ISSN 1095-9203 (Electronic) 0036-8075 (Linking). Disponível em: <<https://www.ncbi.nlm.nih.gov/pubmed/25592418>>.

VIANA, J. G. A. et al. Sustainability of Livestock Systems in the Pampa Biome of Brazil: An Analysis Highlighting the Rangeland Dilemma. **Sustainability**, v. 13, n. 24, 2021. ISSN 2071-1050.

ZAMAN, K. Sustainable Technologies in Agriculture Sector: Ensuring Green Food Production for Resource Conservation. In: (Ed.). **Encyclopedia of Renewable and Sustainable Materials**, 2020. p.550-559. ISBN 9780128131961.

CHAPTER 4 - LAND USE CHANGE IN THE BRAZILIAN PAMPA BIOME

Summary

Anthropogenic changes in rural landscapes have altered the provision of ecosystem services and the use of scarce and natural resources. Studies aimed at examining changes in the local rural environment can influence the search for a balance between food production and other benefits offered by natural systems. This paper aims to characterize historical transformations in land use and to discuss land use management perspectives in the Pampa biome, based on a historical framework. The research was conducted using literature review and historical governmental data subdivided into periods, considering soybean, rice, and beef cattle exclusively in the cities of the biome. The data of the chosen indicators were submitted to the ANOVA test with a significance of 5% ($p < 0.05$). The data show that the changes in land use within the examined biome provoked an intensification in the production of the three crops. As for the productive systems of the region, the changes indicate strengthening in models that integrate crops and beef cattle. The field of discussions around possible land use plans may evolve in search of more efficient production systems aimed at maintaining all the goods offered by natural environments. Pointing out possible rational paths for land use based on the historical data used and the results obtained can support the establishment of regional parameters and land use policies.

Keywords: Food, ecosystems, management, resources, natural.

4.1. Introduction

Transformations in natural landscapes caused by man often stem from the growing need for food, fiber and energy production. Thus, land use is under pressure from intensification, conversion, and abandonment of agricultural and livestock activities over time. Scenarios projected between the years 2012 and 2050 point to increases in the production of cereals worldwide between 39% to 56% and beef between 30% to 55% (FAO, 2018). Growth in demand for food may imply changes in the supply of other services provided by ecosystems (ES) under human influence (JONES et al., 2018). In this way, the exploration of new agricultural areas gains prominence from the point of view of the production of demanded food and the ways of conducting changes in land use, which meet environmental preservation requirements.

In the last four decades, the greatest expansion of agricultural frontiers in Brazil occurred due to the increase in areas with agricultural incorporation of the Cerrado and Amazonian biomes. However, other biomes in the Brazilian territory, such as the Pantanal biome, the Atlantic Forest, and the Pampa Biome, were not left out of this expansion (VIEIRA-FILHO, 2016). The Brazilian Pampa biome is located in the extreme south of Brazil; it is originally a natural formation, which takes up 2.3% (approx. 196,00 Km^2 .) of the national territory and is inserted in the southern half of

the state of Rio Grande do Sul (RS) (MAPBIOMAS, 2020). The Pampa region is naturally endowed with great biodiversity and, in its natural state, has been used for beef cattle for more than 300 years (MATTE and WAQUIL, 2020 and OLIVEIRA et al., 2017). Thus, the expansion of temporary crops in the Pampa Biome has been the subject of studies (OLIVEIRA et al., 2017; LIMA et al., 2020; ROCHA, 2020). The conversion of natural pastures into cultivated crops increases the flow of resources used for food production, resulting in the phenomenon of land use intensification (TRIGO; MARTA-COSTA; FRAGOSO, 2021). Based on this premise, we can affirm that more intensified production systems are being adopted in the Pampa biome region, where the main activity has been the raising of beef cattle, in extensive systems, under natural pastures. Beef cattle, present in the region long before grain production, may have facilitated the implementation of production systems with land use integrating agriculture and livestock, a possible favorable element for an approach to sustainability in the region, as crop-livestock integration systems present advantages in the efficient use of resources and favor the resilience of natural systems, bringing us closer to the idea of sustainability in agriculture (RENARD; TILMAN, 2019; SHARMA; SHARMA, 2019). Although there may be great variation between properties regarding the potential for maximum efficiency in the use of resources and crop productivity with a reduction in negative externalities (COOMES et al., 2019), the research points to a general panorama of the Pampa biome region, with a description of the changes in production and use of the areas, starting from a base of land use activity focused on natural pastures with the extensive production of beef cattle.

In terms of occupied area, the main crops cultivated in the Pampa biome are irrigated rice and soybean. Currently, the rice produced in the biome Pampa corresponds to 98% of all production in the state of RS and more than 70% of the rice produced in Brazil. Soy produced in the same biome represents approximately 7% of the total production in the country (IBGE, 2020). The amount of beef produced in the Brazilian Pampa corresponds to approximately 70% of the total produced in the state of RS and 8% of the total produced in Brazil (MEDEIROS, 2017). The picture of changes in land use in the Pampa Biome is examined in relation to rice, soybeans, and beef cattle between the years 1985 and 2018. In this scenario, the objective of the study is to characterize changes in land use on the agricultural frontier of the Pampa Biome and later to consider the debate on land use management in the region. Exploring historical variations in land use and analyzing land use management in the

Pampa biome are the purposes of this manuscript. Created by law nº 12.651/2012, the rural environmental registry (CAR) makes it compulsory to register preservation areas, areas with natural vegetation and areas of land consolidated in cultivation by Brazilian farmers. Thus, we have in Brazil a land use management system, although some considerations are appropriate regarding land use management within the Brazilian Pampa biome.

Putting production changes and land use in perspective in the Pampa Biome can support projects that contribute to increasing the efficiency of the use of resources for food production and maintenance of ecosystem services given the increased demand for fertile soil. The considerations of the text bring necessary generalizations for the purpose of the article which refers to the search for a global understanding of the effects of land use changes in the region, even though there are important variations between the micro-regions that make up the Brazilian Pampa, which are not explored here.

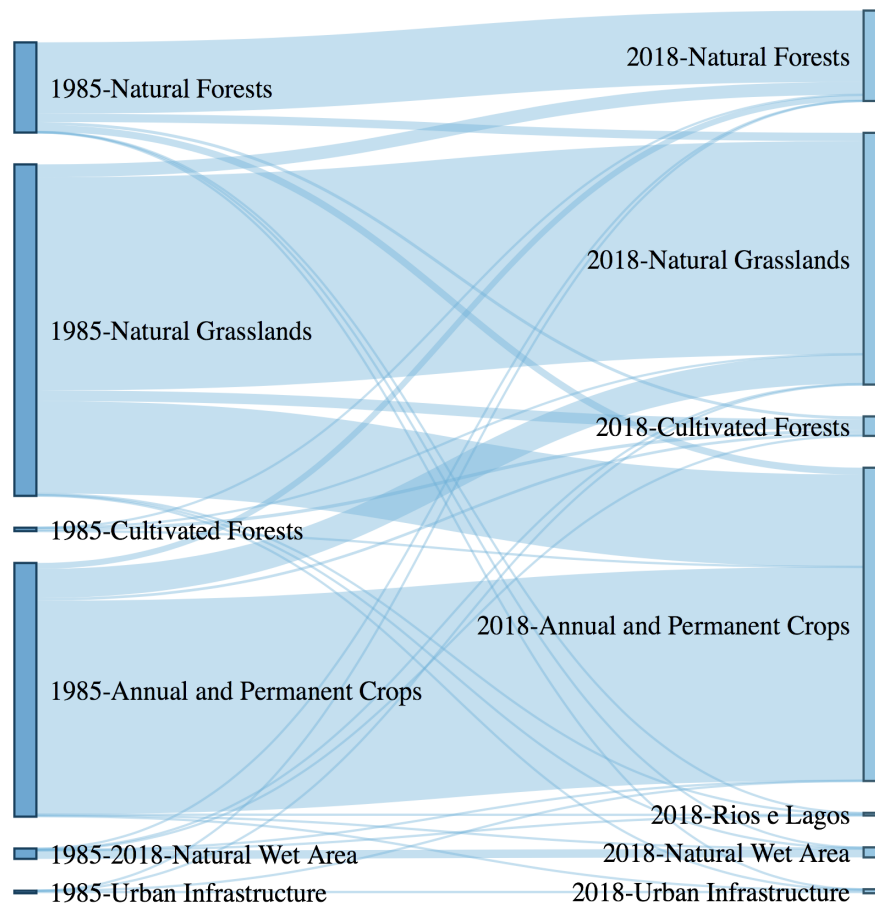
4.2. Methodology

4.2.1. Characterization of the study area

The exploratory analysis presented investigates the effects of the dynamics (Figure 01) of land use in a historical context of 34 years (1985-2018) in the region of the Brazilian Pampa and discusses planning of land use in the biome as an alternative in rational exploration of long-term impact on the region's natural resources. The South American Pampas (latitudes 24°S and 35°S) extend across the territories of Uruguay, Argentina, Brazil, and part of Paraguay, occupying approximately 500.000 Km^2 . The term "Pampa" refers to large expanses of countryside with undergrowth, small shrubs, and occasional trees (PALLARÉS et al., 2005). The portion of the South American Pampas in Brazil (Pampa Biome; Figure 02), corresponds to more than 60% of the entire territory of the state of RS, where historically anthropic activity favored a uniformity of vegetation cover, which in general is used as Natural Pasture (PN)¹ for beef cattle and sheep. It is estimated that in the territory of the Pampa Biome there are more than 3.000 species of plants, of which 15% are creeping or shrub grasses (MMA, 2020). The average temperature in the region is 18°C, and the rainfall varies between

¹ Natural pasture (PN) - Natural vegetation dominated by grass species historically used for grazing (BILENCA, 2004).

1.250 and 1.600 mm; in general, rains are poorly distributed, with summer periods associated with high temperatures and radiation, and temperatures that can reach below zero in winter. Soils in general are shallow and quite susceptible to the effects of water deficits (EMBRAPA, 2018).



Source: Based on data from MAPBIOMAS (2020).

Figure 04. Transitions in land use in the Brazilian Pampa Biome between 1985 and 2018 (Km^2).

Note - The vertical lines represent the portions of area (Km^2) in these classes: Natural Forests, Natural Grasslands, Cultivated Forests, Annual and Permanent Crops, Natural Wet Area and Urban Infrastructure in 1985 (left column) and in 2018 (right column). The blue horizontal lines represent the transitions of each class of land use between the 1985 to 2018 interval.

4.2.2. Object of the study

Historically, beef cattle have been one of the most common systems for exploring natural pastures in the Pampa Biome. The arrival of the first herds dates

back to the middle of the 17th century (CRUZ and GUADAGNIN, 2012; IBGE BIOMAS, 2019). The natural landscapes of the Pampa Biome region in Brazil occupy almost 65.000 Km^2 , where beef cattle, in general, operate with extensive systems², using natural pastures provided by the biome's rural vegetation as the main food.

Rice cultivation in the region takes place on land that can receive continuous irrigation by flooding. The harvested area of rice within the biome is approximately 10,500 Km^2 . Normally, after the rice harvest, the area goes through variable periods of fallow and grazing in the crop residues or in winter cultivated forages, returning to planting in the summer period. In general, farms that produce rice have in their composition of areas fractions of land with greater aptitude for rice cultures, which integrate with the rest of the fields more suitable for beef cattle and other crops.

The soybean crop currently occupies almost 30.000 Km^2 in the Pampa region. In general, soy is integrated with forage plants in winter, which are usually used under rational management in beef cattle. The agricultural areas that house soybean or other temporary crops occur in variable fractions of area within the region's farms, as well as irrigated rice.

Adding up the soybean, rice, and natural formation areas, the three activities occupy approximately 60% of the total area of the Biome, covering 169 municipalities in the state of RS. The municipalities in which the Brazilian Pampa region is contained were highlighted according to Hasenack (2007), and data on the production and harvested area of soy and rice of the 169 highlighted municipalities were taken from IBGE (2020). Therefore, the examination was carried out with historical data exclusive to the municipalities of the Pampa Biome, as indicated in Figure 02 (the list of municipalities is shown in Appendix A).

² Extensive Systems - Extensive systems are characterized by the use of native and cultivated pastures as the only sources of food (CEZAR et al., 2005).

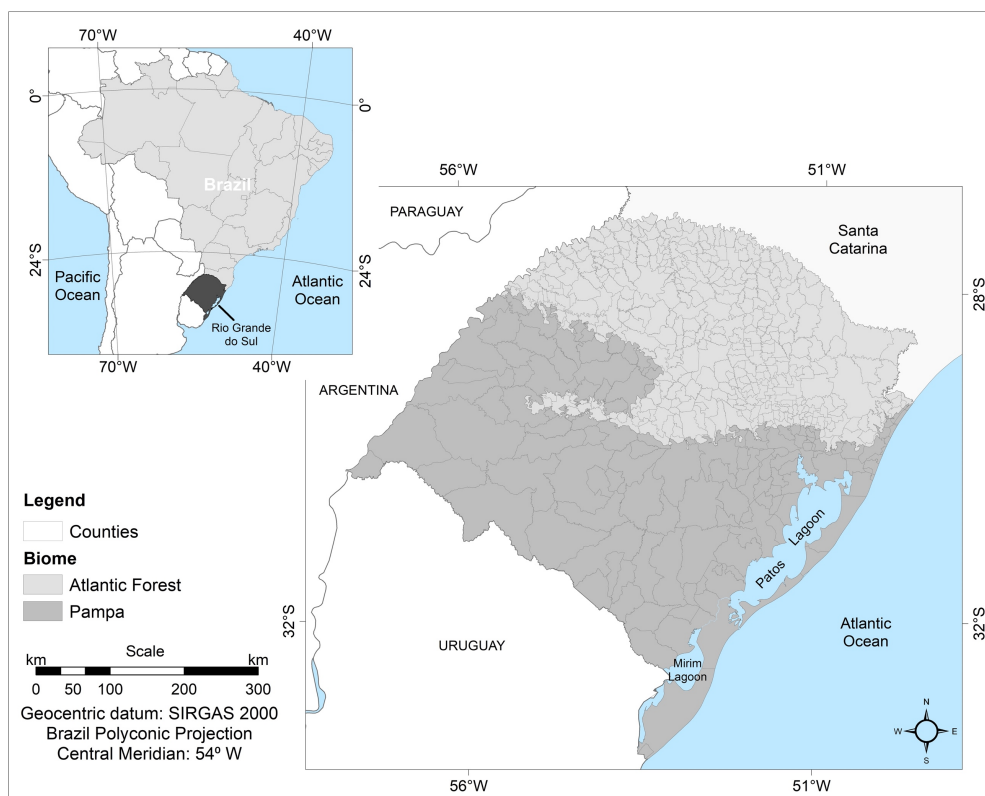


Figure 05. Brazilian Extension of the Pampa Biome

Fonte: Authors

4.2.3. Data analysis

Slaughter data by category of animals were counted using the number of animals in heads and the carcass weight of the animals. Included in the sum of livestock data are records of three types of inspection of products of animal origin (Municipal, State and Federal Inspection) in each municipality of the Biome (IBGE, 2020). To form a picture of the dynamics of land use in relation to cattle, soy, and rice in the region, the data were divided into 6 sub-periods between the years 1985 and 2018. The criterion for implementing the sub-periods was the biological cycle of beef cattle in full cycle³, developed in extensive systems in the region. Beef cattle represent the main activity in terms of land use. The reference to the beef cattle production cycle may show some tendency as it is the most common activity in the region. The indicators chosen to relate the activities and their productive links were the amount

³ Complete cycle - Livestock production system that comprises the stages of: gestation, birth and growth of animals, ending with the fattening stage, in the same rural establishment (CEZAR et al., 2005).

harvested of soy and rice (tons) in the municipalities of Pampa, as well as the area harvested in the crops (ha) and the yields of the crops⁴. The production per hectare (tons /ha) of temporary crops was obtained by the ratio between the quantity harvested (tons) and the area (ha) harvested in rice and soy, according to equation 1.

$$R_{grains} = \frac{\sum_{i=1}^n Q_i}{\sum_{i=1}^n A_i} \quad (1)$$

R_{grains} = Yield per area (tons / hectare).

Q_i = Agricultural production of municipalities in the region (tons per year).

A_i = Agricultural area harvested in the region's municipalities (hectares).

The amount produced by the beef cattle of the biome was based on a rate relative to the herd in the biome region in relation to the herd in the state of RS, according to the equation 2. Thus, the estimate of beef production in the Pampa biome is directly related to the dynamics of the number of animals in the municipalities of Pampa over the period (1985 to 2018) according to the IBGE (2020). The cattle slaughter data published by IBGE do not describe values by municipality, but the total of RS. Thus, the proportionality of the herd in the Pampa biome in relation to RS was used to estimate the amount of beef produced in the biome (tons of carcass per year). Thus, assuming that the herd in the biome in a given year represented 70% of all cattle herd in RS, the same percentage will be applied to the total slaughtering in RS to find the estimate of slaughtering of the cut in the biome.

$$Q_{beefP} = \left(\frac{\sum_{i=1}^n QP_i}{\sum_{i=1}^n QRS_i} \right) \times Q_{beefRS} \quad (2)$$

Q_{beefP} = Quantity of beef produced in the Pampa biome (tons of carcass per year).

QP_i = Number of heads registered in the municipalities of the biome per year.

QRS_i = Number of heads registered in RS per year.

Q_{beefRS} = Quantity of beef produced in RS (tons of carcasses/year).

The production yield in beef cattle was measured in tons of carcasses per hectare and corresponds to the ratio between the number of carcasses produced (ton) and the existing native field area annually, resulting in productivity per area of native field existing in the municipalities of the examined biome, according to the equation 3.

$$R_{beef} = \frac{\sum_{i=1}^n Q_i}{\sum_{i=1}^n A_i} \quad (3)$$

⁴ Yield of agricultural crop - Refers to the amount of agricultural product harvested, per unit of area, and results from the ratio between the total amount of agricultural product harvested and the area used to obtain such harvest.

R_{beef} = Yield per area (Tons / hectare).

Q_i = Production by municipalities in the region (tons of carcasses per year).

A_i = Non-forested Natural Formation Area by municipality in the region (hectares).

The analysis period was chosen observing the intensification of changes in land use. During the analyzed period, there was a greater degree of increase in the conversion of land use to temporary crops. The data resulting from the averages for each period were subjected to the averages test (ANOVA) and the contrasts were calculated using the Scheffé test in the SPSS®.

4.3. Results and discussion

4.3.1. Relative variations between land use and yields

Within the analyzed context, there were significant reductions in the total area of natural formation in the Pampa biome, as other authors had already stated (BARRAL; MACEIRA, 2012; OLIVEIRA et al., 2017; MATTE; WAQUIL, 2020). The reduction in the area of natural formation in the Pampa on Brazil between 1985 and 2018 was approximately 22% (IBGE, 2020). Oliveira et al. (2017) cite that between 1975 and 1985, the loss of natural formation in the biome was 12.5%. The general trends in behavior and percentage changes in the quantity harvested and in the total harvest area of soybeans, rice, and beef cattle between periods were compared in figure 6.

According to figure 6 (a b) both crops (soy and rice), indicate a general trend of greater positive variations in the harvested quantities compared with the variations in planted area in soy and rice during the evaluated period. The accumulated total in the soybean harvested area (ha), grew between the initial and final periods of the exam (1985 to 2018), by approximately 164.5% (Figure 01a), while the variation in the amount harvested in the Pampa Biome was more than 490% (from 1.3 million tons to 7.7 million tons). In another time interval and scale, Burney et al. (2010) affirm that the total cultivated area on planet Earth in the period between 1961 and 2005 suffered an increase of 27% while the yields of the crops grew 135%. And Pretty (2008) says that in the last five decades agricultural production has increased by more than 100% with an increase in area of 9%. The figure 6 (b) shows comparisons of the intervals for the Brazilian Pampa rice area, which grew by 47% over the whole period while the total production of the biome increased by 140% between the first and the last analyzed

interval. Fallow areas in rice fields (a period that may last a few years) may be recognized as areas of rural formation. Therefore, these areas, confused with natural formation, may be part of a rotation of rice fields; thus, the negative correlation between areas of rice fields with areas of natural or rural formation in the Pampa could be explained to some degree. The correlation (Pearson) between the indicators: “Areas of natural non-forest formation” (Natural field Formation) and “Area harvested from rice in the Pampa (ha)”, resulted in -0.780, which denotes a strong negative association between the values of the indicators in the period. The figure 6 (c) shows an increase in losses in the area of non-forested natural formation (Natural fields formation) over the period and a positive growth, but a decline in the percentage increase in total livestock production (tons of carcass), from 1997-2002 to 2003-2008.

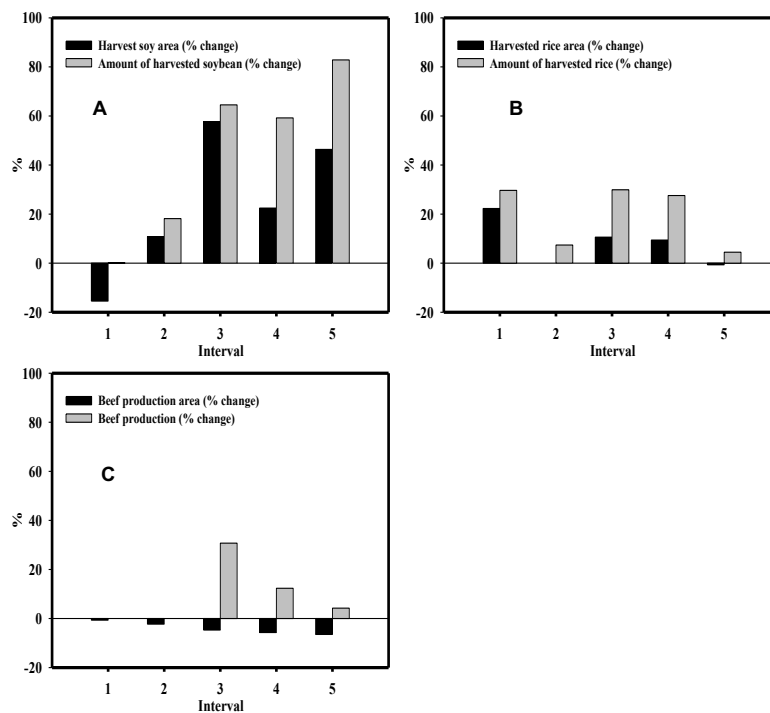


Figure 06: Percentage variations of the average quantity of product and the area used by soy (a), rice (b) and beef(c) production activities, between the periods, in the Pampa Biome.

Note: Range 1 = variation of the average between the periods 1985-1990 to 1991-1996; Range 2 = variation of the average between the periods 1991-1996 to 1997-2002; Range 3 = variation in the average between the periods 1997-2002 to 2003-2008; Range 4 = variation of the average between the periods 2003-2008 to 2009-2014; Range 5 = variation of the average between the periods 2009-2014 to 2015-2018. The area intended for beef production shown in graph c, is restricted only to the native vegetation of the Pampa Biome within Brazil.

Source: Prepared from IBGE data, 2020

4.3.2. Variations in biome production indices

The results in table 01 show the differences between the means of each indicator over the chosen intervals. The means of the indicators reflect the sum of the

results of the municipalities in the biome by interval. The indicator, “Cattle herd in the Pampa Biome (Cab.),” can be an important reference because it is associated with areas of natural formation with the traditional extensive cattle raising activity in the region. The Pampa cattle herd suffered a 7.15% reduction in the last interval (2015-2018) in relation to the 2009-2014 interval, differing from all other periods analyzed. The significant decrease in the indicator, “Cattle herd in the Pampa (Cab.) Biome,” in the 2015-2018 interval is corroborated by the increase in the slaughter of bovine females in RS and in the Pampa and with the increase in the values of the indicator, “Total amount of cattle slaughter in the Pampa (Tons Carcasses).” It seems reasonable to highlight a growth trend in the slaughter of cattle in the Pampa over the entire period (1985-2018), including increases in the slaughter rates of bovine females.

Table 01 - Indicators for rice, soy and livestock crops in the Pampa region of Brazil (1985 to 2018).

Description / Intervals	1985-1990	1991-1996	1997-2002	2003-2008	2009-2014	2015-2018
Yield of soybean crop in Pampa (tons / ha)	1,28 ^b	1,55 ^b	1,63 ^b	1,74 ^b	2,20 ^{ab}	2,8 ^a
Yield of rice culture in the Pampa (tons / ha)	4,65 ^c	4,95 ^c	5,28 ^{bc}	6,22 ^b	7,27 ^a	7,655 ^a
Yield Cattle Pampa (tons carcasses /ha)	-	-	0,05 ^c	0,07 ^b	0,08a ^b	0,094 ^a
Quantity harvested of Soy in the Pampa (tons)	1.363.851 ^c	1.365.517 ^c	1.613.259 ^c	2.654.015 ^{bc}	4.224.970 ^b	7.724.558 ^a
Quantity harvested of rice in the Pampa (tons)	3.403.441 ^c	4.413.099 ^c	4.739.468 ^{bc}	6.157.315 ^b	7.855.309 ^a	8.207.767 ^a
Pampa Cattle Slaughter Quantity (tons of carcasses)	-	-	411.161 ^b	537.505 ^{ab}	603.810 ^a	629.458 ^a
Harvested area of soy in the Pampa (ha)	1.046.180 ^c	884.298 ^c	980.078 ^c	1.544.579 ^b	1.891.539 ^b	2.768.883 ^a
Harvested area of rice in the Pampa (ha)	729.533 ^c	892.042 ^b	891.963 ^b	986.637 ^{ab}	1.079.517 ^a	1.072.100 ^a
Native vegetation area (ha)	8.237.169 ^a	8.182.672 ^a	7.993.488 ^a	7.618.265 ^b	7.182.942 ^c	6.716.670 ^d
Bovine Herd in RS (heads)	13.732.984 ^{ab}	13.989.945 ^{ab}	13.825.098 ^{ab}	14.183.045 ^a	14.241.481 ^a	13.308.038 ^b
Bovine Herd in biome Pampa (heads)	10.556.476 ^{ab}	10.653.009 ^a	10.344.510 ^{ab}	10.761.637 ^a	10.616.121 ^a	9.856.673 ^c
Cattle slaughter in the State of RS (heads)	-	-	1.276.011 ^b	1.633.032 ^{ab}	1.853.912 ^a	1.945.779 ^a
Annual slaughter in RS (tons of carcasses)	-	-	550.495 ^b	708.457 ^{ab}	810.260 ^a	850.349 ^a
Slaughter of bovine females in RS (heads)	-	-	458.128 ^b	684.814 ^{ab}	829.442 ^a	925.074 ^a
Slaughter of bovine females in RS (tons of carcasses)	-	-	92.079 ^b	139.878 ^{ab}	172.798 ^a	193.558 ^a
Estimation of slaughter of bovine females (in Pampa) (tons of carcasses)	-	-	68.695 ^c	106.229 ^{bc}	128.764 ^{ab}	143.246 ^a

Source: Based on data from IBGE - Municipal agricultural production; IBGE - Animal Slaughter Quarterly Survey; IBGE - Municipal Livestock Research. Note: ANOVA test with significance at the 5% probability level ($p < 0.05$). The averaged lines followed by different letters differ in the F and Scheffé tests ($P \leq 0.05$).

The behavior of the indicator, “Area harvested from soy in Pampa (ha),” points to a significant increase of 46.4% in the last interval (2015-2018) in relation to the previous one (2009-2014). The correlation found between the indicator, “Area harvested from soy in the Pampa (ha),” and the indicator, “Cattle herd in the Pampa biome (head.),” was -0.386. However, the correlation found between the indicators, “Quantity of Cattle Slaughter in Pampa (tons carcasses),” and “Area harvested from soy in Pampa (ha),” annually in the same biome was 0.603, showing a positive association between the beef production and soybean area indicators (table 01). The

increase in beef production may be linked to the increase in winter pasture areas left after soybean cultivation.

At the same time that the soybean harvested area in the biome expanded and the yields of the soybean crop improved, showing an average growth trend of 3.5% per year. The rice crop showed an increase in yields, with smaller relative increases in area when compared to the soybean crop in the region. The soybean crop in the Pampa region currently represents almost half (45.2%) of the entire volume of the grain harvested in the state of RS, showing a picture of significant changes in land use, also suggesting changes in the production systems. The 1985 Pampa region was responsible for 28.96% of the soybeans harvested in the state of RS.

The results show an advance of summer crops over areas of native formation, supporting Oliveira et al. (2017), who identified the causal influence of temporary crops and cultivated forests on natural landscapes of the Pampa biome. The three crops showed evidence of growth in total production and yields within the Pampa biome of Brazil. Associated with this, the results point to a trend of absolute reduction in the cattle herd in the Pampa biome, inclining toward an increase in the number of animals per hectare of natural formation existing in the region (Fig. 7 b); Element that may imply greater environmental pressure on remaining areas of natural pastures in the biome and should be considered from the perspective of sustainability.

It seems reasonable, then, to suppose that the increase in the speed of slaughter of cattle in the Pampa is due to innumerable improvements in the productive systems, among them appropriate nutrition to increase the weight of the animals for earlier commercialization. Earlier slaughter of cattle is preceded by more constant weight gain curves that do not normally occur in natural pastures mainly because of the hibernal period in the region.

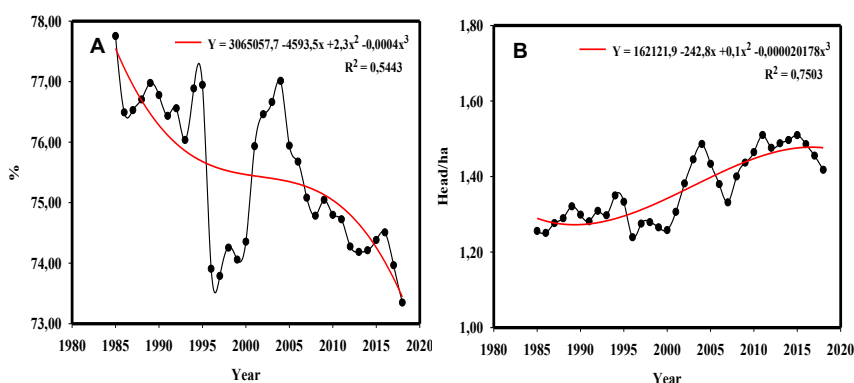


Figure 7: a) Participation (%) of the Pampa Bovine Herd in Relation to the State of RS (%); b) Pampa Bovine Herd in Relation to Natural Formation Area (head / ha).

Source: Based on data from IBGE, 2020.

Generally, during the winter, animals suffer greater loss of body weight, in extensive cattle raising in the Pampa biome. This winter period contains a large part of the forage cycle cultivated after soybean cultivation in the region. According to Gottschall (1999), weight losses of over 40 kg in cattle in the hibernal period are common in natural fields in RS. The recurrent weight losses make beef cattle exclusively developed in a traditional way, in natural fields, generally very inefficient in production. The carrying capacity of native pasture ranges from 0.5 to 1UA / ha, and the performance of herds in these systems is considered low (CEZAR et al., 2005). However, Nabinger (2009) comments that the average production of beef cattle in the region of 70 Kg of PV can be multiplied by 10 according to the level of intensification applied in the activity.

Salomoni and Silveira, (1996) evaluated the vegetable production of the region's natural grasslands. The authors recorded production of approximately 5.800,00 kg of dry matter per hectare per year, where in the months of June, July and August, the production was 830,00 kg of dry matter and January, February and March, more than 2 thousand kg of dry forage matter per hectare per year. The increase in the winter forage contribution in the region may play a major role in the growth of cattle slaughter detected over the examined period. This forage input is a product of the cultivation of grasses and winter legumes, which are grown after summer crops. These are high quality forages used by cattle in the period of greatest nutritional restrictions (winter) for animals grazing in the natural fields of the Pampa. Thus, with increased yields of beef cattle, the region began to slaughter more animals over the period between 1985 and 2018. We can then assume that land use in the Pampa biome has intensified since it started to house ever increasing amounts of area occupied by temporary crops, with a positive evolution in grain and beef yields per hectare. Specialized intensive agriculture has been characterized by some authors for containing negative environmental and social externalities; also, the systems that integrate agriculture and livestock (mixed systems) can be criticized by scholars for presenting lower yields, thus requiring larger areas to produce the same quantities of agricultural and livestock products (LAMBIN; MEYFROIDT, 2011). With a view to the

long-term use of land for food production, some effects of changes in land use toward the intensification of agricultural production systems are discussed below.

4.3.3. Intensification of land use

Meyfroidt et al. (2018) describe intensification, such as the application of procedures that increase land yields and the amount of inputs per unit of land as well as alter ecosystem properties. In this sense, and following the Norman Bourlaug hypothesis, Waggoner (1995) points to historical evidence that increases in crop yields through developed technologies, have saved land and can respond positively to produce food for the entire projected population (10 billion people) by 2050, saving arable areas. Burney et al. (2010) considered that the anthropogenic carbon emissions (12% of the total) caused by agriculture in the current state of intensification were lower than the emissions that would have occurred in extensive farms. Also, if crop yields had remained constant since 1961, an additional 1.7 million hectares of arable land would be required to reach the 2005 production level. Researching the evolution of agricultural yields in 124 countries and 23 crops for twenty years, Ewers et al. (2009) related the changes in the area of cultivation, production, and crop yield with the areas of natural forest, even observing a weak land-saving effect (attributed to subsidies). The authors found a reduction in the area of cultivation per inhabitant in countries with increases in yields and decreases in deforestation accompanied by increases in productivity.

Buserup (1965) proposes a basis around the idea of intensity in land use. And in this sense, describes regions undergoing transformations in land use, in favor of an intensification of agricultural areas, with five levels. The author illustrates the idea that some agrarian systems have gradually become more intensive over time, with the same phenomenon occurring in different parts of the planet, causing impacts on land use. The intensification of land use in the Pampa biome may have saved areas less favorable to cultivation, resulting in an increase in natural forests. The picture of the dynamics of the area occupied by natural forests in the Pampa (Table 02) showed relative growth higher than the state of RS in the analyzed period, with growth close to 25% (21 thousand Km^2 in 1985 and 26 thousand Km^2 in 2018) (MAPBIOMAS, 2020). In line with the Jevons paradox, Hertel et al. (2014) indicate that, in a global context, agricultural intensifications do not always save land, since increases in production can displace the price curve and trigger increases in consumption as a result of lower

prices, and because of opportunities generated by lower production costs, attract investments in saved land.

Table 02 - Changes in the Pampa Forest area between 1985 and 2018 (Km^2 / year)

Year	Forest Area on RS (km^2)	Pampa Native Forest Area (km^2)
1985	51.970,01	21.760,96
2018	57.889,58	26.156,13
<i>Differences between the years 2018 and 1985</i>	5.919,58	4.395,17

Source: Based on data from MapBiomass (2020).

Following historic figures (1970 to 2005) of increasing yields in agricultural crops, Rudel et al. (2009) found a drop in cultivated areas accompanied by increases in food import rates. In this way, regions or countries end up transferring pressures of increasing demand for agricultural products to other locations, with the overflow of land use occurring (MEYFROIDT, 2018). Putting in perspective, the potential of the agricultural crop, lower yields and reduced planted area, can occur due to insufficient returns due to prices, risks, infrastructure or natural conditions, where it would be unsatisfactory to invest in agriculture. When resource use becomes inefficient, buying food from more efficient producers may be a better choice. (GODFRAY et al., 2010).

The process of intensifying land use in the Pampa region of Brazil signals a growth directed toward production systems that use agriculture and livestock in the same space throughout the year. This implies that livestock uses pasture areas that are cultivated after the grain harvest, and this succession of uses occurs where the Pampa biome once formed naturally. Therefore, the expansion of summer crops has probably been a factor in stimulating these mixed production systems in the Pampa biome. The intensification phenomena with expansion between agricultural and or livestock activities can occur concurrently in some regions (MEYFROIDT, 2018).

The greatest advance in productivity in beef cattle ranching occurred concurrently with the strong relative growth in the area and in soybean production, between the 1997-2002 to 2003-2008 intervals. The accumulated reduction (1985 to 2018) of the non-forested natural formation area found was 15,205 Km^2 . (22%), while the increase in estimated beef production in the Pampa was 88% between the 1997-2002 and 2015-2018 intervals. Currently beef cattle farmers in RS are slaughtering younger animals, demonstrating the increase in slaughter speed (VARELLA et al., 2018). This fact denotes greater weight gains per unit of time. The phenomenon of an absolute increase in the amount of beef produced within the Pampa biome was

accompanied by a trend of decreases in the participation of the Pampa biome in the bovine herd in RS (Figure 04 a). The need for rotation in areas cultivated with rice, in the Pampa region, conditions the availability of approximately 40.000 Km^2 , in crop-livestock integration systems. And the fattening of cattle on oat (*A. strigosa*) and ryegrass (*L. multiflorum*) pastures, planted after soybean cultivation, predominates in the region. (FONTHANELI et al., 2019). The statements above, together with the evidence found in relation to the soybean area and livestock production over the period evaluated, and with reports from authors regarding changes in the profiles of slaughtered animals, point to significant increases in the use of areas under a system of integrated crop-livestock systems in the Pampa biome, especially integrating soybean crops with winter pastures. The section below deals with the connection of changes in land use with integrated crop-livestock production systems in the Pampa biome.

4.3.4. Crop-livestock Integration systems

Halstead (1996) describes evidence of mixed systems with an emphasis on wool production over 7 thousand years ago in Greece and many other cases in prehistoric Mesopotamia and historical Europe described in archaeozoology. Integrated Production Systems are characterized by housing a plant cycle and an animal cycle, in succession, in the same area (CARVALHO et al., 2006a). Integrated systems rationally exploit synergies of interactions between soil, plants, animals, and the atmosphere, integrating agricultural and livestock activities at different time and space scales (MORAES et al., 2004a). Kuelen and Shiere (2004) analyzed mixed production and specialized production from the conceptual perspective of production systems and concluded that mixed systems can contain different combinations of agriculture and livestock, with advantages and disadvantages that differ between regions.

In industrialized countries, agriculture has specialized, influenced by incentive policies (RAY and SHAFFER, 2005). But there is currently great interest in integrated production systems due to concerns about scarce natural resources, profitability, and income stability (RUSSELLE et al., 2007). In view of the scenario of increased demand for food, the most appropriate alternative is the intensification of agriculture-ecosystems concomitant with soil improvement. In this sense, the crop-livestock integration systems can contribute because they have economic, biological, and social attributes, connected with the search for more sustainability (BALBINOT et al., 2009).

In the subtropical region of Brazil, crop-livestock integrations are characterized by the rotation between pastures and crops. Crops are implemented using no-tillage systems on an annual rotation, with crops in summer and pastures in winter (MORAES et al., 2004b). Carvalho et al. (2006b) comment that the integrated crop-livestock systems, combined with the No-Tillage system, can generate benefits such as the conservation and improvement of the soil with greater accumulations of carbon and organic matter. Also, the presence of grazing animals in integrated crop-livestock systems benefits crops in succession when handled correctly. The municipalities in the biome show a positive evolution in terms of no-till (Figure 03), indicating the effect of the change in land use within the Pampa region. As the application of technology related to the adoption of the No-Tillage system is fundamental in the implementation of the Crop-livestock Integration, it is an indication of the adoption of this type of system. No-Tillage, combining crop rotation and grazing effects, interact synergistically, making the productive result greater than the individual sum of the technologies in use. Among the advantages of using integrated systems, production stability and the maintenance of high biodiversity in the managed areas stand out (MORAES et al., 2004a).

Schiere et al. (2002) discuss the tendency of harvests to become more important in the face of livestock within the crop-livestock integration systems and the capacity of pastoral areas to withstand greater pressure. The argument was reinforced by simulated models showing short-term productive gains with no livestock. However, in the long run, the models showed that integration is capable of supporting larger populations dealing with food production. In the Argentine pampas, the rotation between crops and pastures was replaced by wheat and soybean crops in sequence; that is, predominance of specialized agriculture (FAUBA, 2003). Some areas unfavorable to agriculture, socio-cultural features of the Pampa region, as well as a large number of areas under the regime of partnerships and tenants existing in agricultural activities today (table 03), may represent factors that inhibit a massive expansion of grain crops in the region, making them a stable fraction of the total properties and favoring mixed production systems. The biome represented by the typology of producers (table 03) compared to the state RS, differs in that it presents 80% of the entire area occupied by tenant producers in the state of RS, and 84% of the state area that is occupied by producers classified with partner attributes are in the Pampa biome.

Table 03 - Production area (ha) of temporary crops by type of producer.

Typology of producers	Own	Leased	Partnership
Total Area / Typology in Pampa (ha)	2.875.865	<u>1.360.435</u>	46.917
Total Area / Typology in RS (ha)	4.269.907	<u>1.682.678</u>	55.855

Source: Based on data from the 2017 Census of Agriculture

Land management methods, crop rotation, and land use systems that seek to preserve or restore soil quality and fertility are strongly related to the increase in physical and economic efficiency of the soil in the long run (WRACHIEN, 2003). Moraes et al. (2004b) point out that the integration systems in the Brazilian subtropical regions represent intensification systems, which tend to approach sustainability, and that the adoption of such technology is due to the low risk and the opportunity to diversify the rural properties in the region.

Due to the complexity of the systems, integration on farms or between farms could restrict the adoption of mixed systems; however, the potential of public benefits justifies national research initiatives to overcome obstacles in search of more sustainability in agriculture (RUSSELLE et al., 2007). Whether integrated systems, intensive non-integrated systems, or a combination of both, all carry with them greater needs for environmental management so that production can achieve good results in the long run. Within the context described so far, the question is asked: If the negative effects of intensification can be minimized in integrated or non-integrated systems, what can be done to ensure the benefits of food production while preserving the environment? Some references are discussed below, proposing bases of support for the discussion turning to land use planning.

4.3.5. Land use planning (LUP)

Food production has doubled in the past four decades despite a 12% increase in the area under cultivation. In contrast, irrigated land was lost due to salinization, and approximately 40% of cultivated land suffers to some degree with soil loss due to erosion (FOLEY et al., 2005). Alarming losses of species and ecosystems have been caused by agriculture worldwide, and modern agriculture with less expansion and more biodiversity friendliness is necessary; however, changes come along with incentives, regulations, and repositioning (BADGLEY, 2002).

The Pampa biome has 3.3% in conservation areas along with an agricultural expansion that can compromise the biodiversity of fauna and flora (MMA, 2020). In addition to the loss of area for temporary crops, the biome has the largest number of terrestrial vertebrate species threatened with extinction outside of protected areas in Brazil (TORRES and VERCILLO, 2012). Important impacts on the natural resources of the Pampa, also occur due to overgrazing of cattle and invasion of the exotic plant commonly called “anoni grass” (*Eragrostis Plana*) that exceeds levels of 140 $Km^2/year$. Arenization areas and landscape fragmentation due to the entry of crops are some of the “trade-offs” faced in changing land use in the natural fields of the Pampa (CARVALHO and BATELLO, 2009). As in other biomes, the Pampa presents the challenge of producing food and preserving the environment, seeking greater sustainability. For land governance objectives to be achieved, legal and institutional frameworks are important, and for results to be measured, it is necessary to use specific indicators (AUZINS et al., 2013). To this end, territorial governance launches measures such as certification, regulation, and land use planning, as well as designating protection areas and new instruments of territorial governance as payment for ecosystem services (SIKOR and MÜLLER, 2009).

Holdem (1971) expresses it as the most extensive environmental project proposed: a set of measures that provided environmental protection with land use plans built by the United States in 1971. However, between 1990 and 2004, developed countries that adopted conservation policies increased their imports of cereals per capita by 42% compared to an average increase of 3.5% in countries that have not adopted such policies (RUDEL et al., 2009). According to Lambin and Meyfroidt (2011) in a globalized world, ideal local solutions need to be contextualized, as they have broader implications; choosing relatively unproductive systems can imply exchanges due to the displacement of production to other “places.” For this reason, land use and management systems must be considered as open systems to the free flow of capital to promote greater efficiency in the use of resources. Fischer et al. (2017) argue that multifunctional landscapes provide a greater set of ecosystem services and are experienced locally to a greater extent, so landscapes should be managed locally.

Sachs et al. (2010) proposed a monitoring model so that the effects of agriculture on nature could be assessed, prioritizing social, economic, and environmental metrics at global and regional levels. Balis and Baka (2011) understand that the construction of sustainability is under the judgment of the decisions of

landowners who have almost complete independence in their decision-making regarding the use, intensification, or abandonment of the land. Baral and Maceira (2012) applied a model of land use planning in the southeast of the Pampas region of Argentina with a focus on ecosystem services linked to food production, water purification, and provision and soil protection, considering the appropriate system to incorporate dimensions of land use. Phalan et al. (2016) state that zoning policies can be accepted as legitimate by producers when they present integrated plans, proposing mechanisms for managing land use that involve incentives and rules to save habitats and increase the production of cultivated land. Bai et al. (2018) address the gap between science and politics in the implementation of measures that promote land use based on ecosystem services.

We describe some discussions about the contextualization of the land use management problem; because of that, we can easily diagnose complexities in the solution of the optimization of food production with the preservation of the environment. It also stands out in the discussion of regional land use management that the Brazilian Pampa has a diversity of situations, which results from different technical-productive, economic, social, and behavioral characteristics in interaction (AGUINAGA, 2009). The land distribution of the Pampa biome (Figure 8) can demonstrate the diversity of situations as well as the typology shown in table 03, where some managerial decisions related to land management end up being made by a partner or tenant of the land.

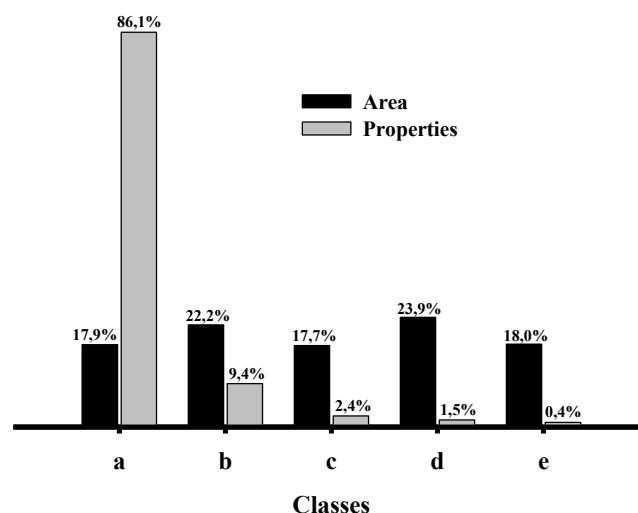


Figure - 8. Land Distribution in the Pampa in 2017

Note - Dark columns represent the percentage of the area occupied by each class of property size, over the total area of the Biome. The clear columns represent the percentage of properties in each class, in relation to the total rural properties, existing in the Pampa to Brazil biome. The classes are: a) Properties of up to 99ha; b) Properties between 100ha and 499ha; c) Properties between 500ha and 999ha; d) Properties between 1.000 and 2.500ha; e) Properties with more than 2.500 ha. Darker

The CAR, represents the main way of approaching the theme of management in the use of areas in Brazil. However, it is a declaratory tool and presents some generalizations that can compromise, in some way, a greater efficiency in the use and conversion of natural areas. An approach with greater technical participation, directly seeking the best areas for agriculture, addressing a greater number of aspects such as resource efficiency, and maintenance of environmental services, can improve management in biomes, including the Pampa biome. Agricultural systems impact biodiversity, water use and the potential to deplete soil fertility (FOLEY et al., 2011). Figure 4 illustrates some changes in land use in the region, highlighting land that converts from natural areas to cultivated crops and also cultivated land that is abandoned and "returns to belong" to the fraction, native pastures. Somehow, these farmlands became unsustainable. The lands on which crops are no longer cultivated no longer have the previous soil cover and plant diversity. The need for some land use planning policy in the Pampa biome becomes very clear when we observe that both natural areas are converted to crops and part of these lands are abandoned over time. Incurring environmental and economic losses that could be avoided or mitigated.

Some initiatives in favor of land use management in the Pampa can be mentioned, such as the State of RS joining the National Environmental Registry System in 2015, actions such as those taken by the Alianza del Pastizal, group in favor of pasture beef production, more recently, the Campos do Sul state program, which seeks to recognize protected areas in the countryside by landowners, and the new state code for the environment of the state of RS (Law N°.15434/2020). The first Pampa Systematic Conservation Planning, written by Lima et al. (2020), establishes scenarios aiming at the 11th Aichi target (17% preservation), using areas of integral protection and areas of sustainable use with light grazing. The socio-economic costs of the model considered areas with higher densities of sheep and cattle, less valuable for conservation and more valuable as loss reducers.

4.4. Final considerations.

Important points can be highlighted in the description of changes in land use in the Pampa biome and its management within the evaluated period (1985 to 2018). Among them, we highlight some evidence found in our research, which can serve as support for studies and application of policies to increase the sustainability of agriculture and livestock in the biome:

- Continuous conversion of natural pasture areas into cultivated crops, mainly soybeans.
- Intensification of land use, both within cultivated crop areas and in extensive bovine farming areas, due to the tendency to increase the concentration of animals per hectare of remaining natural pastures.
- Increase in natural and artificial forest areas within the Pampa biome.
- Increase in yields of the three analyzed crops (soybean, rice, beef cattle).
- Expressive participation of partner rural producers or tenants in the use of land in the Pampa biome.
- Changes in production systems, adopting forms of integration between cultivated crops and beef cattle.
- Expressive areas in the process of abandoning more intensive activities such as permanent and annual crops.
- Reduced academic and technical discussion regarding measures such as an area use plan, with a view to providing greater support for the sustainability of changes in land use in the region.

As in other agricultural regions of the world, the challenge of the Pampa biome is to prosper economically, generating more foreign exchange and food from the production of the land, preserving biodiversity and maintaining services provided by the natural environment. The region plays an important role in food production and presents a significant picture of successive evolutions in the evaluated crops. From a general point of view, land use has been intensifying with greater speed in the period, with an expressive participation of mixed production systems in the biome. We also see that the conversion of annual and perennial crops to natural pastures can indicate weaknesses in the planning of the use of areas in the region. In this way, we can outline three possible scenarios for land use in the Pampa biome in Brazil: 1) The Pampa biome could follow the path of conservation and thus possibly transfer the pressure of demand for food and also the possible economic, social and environmental fruits to

another region and thus reduce or stabilize cultivation areas; 2) The path of intensification, replacing pastures by crops and livestock strictly by criteria that consider short-term financial gains; 3) Intermediate path, which consists of encouraging the application of planned agricultural expansion policies, with the objective of increasing the efficiency of the use of resources in production systems. In this sense, it is necessary to advance in discussions on plans for the use and planning of the territory and for the use of natural resources in the Pampa biome, seeking sustainability. Evidence points to the need for multidisciplinary teams and extensive knowledge of the local socioeconomic and environmental reality to advance in the field of land use and management in the biome. The dynamics of land use in the Pampa biome showed an intensification that can be incorporated into future land use plans.

References

AGUINAGA, A. J. Q. **Caracterização de Sistemas de Produção de Bovinos de Corte na Região da Campanha do Estado do RS**. 2009. Tese PPG Zootecnia, UFRGS, Porto Alegre.

AUZINS, A.; GEIPELE, I.; STAMURE, I. Measuring Land-Use Efficiency in Land Management. **Advanced Materials Research**, v. 804, p. 205-210, 2013. ISSN 1662-8985.

BADGLEY, C. Can Agriculture and Biodiversity Coexist? In: KIMBRELL, A. (Ed.). **Fatal Harvest: The Tragedy of Industrial Agriculture**. Washington: Foundation for Deep Ecology & Island Press, 2002. cap. 5, p.279-286.

BAI, Y. et al. Developing China's Ecological Redline Policy using ecosystem services assessments for land use planning. **Nat Commun**, v. 9, n. 1, p. 3034, Aug 2 2018. ISSN 2041-1723 (Electronic) 2041-1723 (Linking). Disponível em: < <https://www.ncbi.nlm.nih.gov/pubmed/30072771> >.

BAILIS, R.; BAKA, J. Constructing Sustainable Biofuels: Governance of the Emerging Biofuel Economy. **Annals of the Association of American Geographers**, v. 101, n. 4, p. 827-838, 2011. ISSN 0004-5608 1467-8306.

BALBINOT, A. A. J. et al. Integração lavoura-pecuária: intensificação de uso de áreas agrícolas. **Ciência Rural**, v. 39, n. 6, p. 1925-1933, 2009. ISSN 0103-8478.

BARRAL, M. P.; MACEIRA, N. O. Land-use planning based on ecosystem service assessment: A case study in the Southeast Pampas of Argentina. **Agriculture, Ecosystems & Environment**, v. 154, p. 34-43, 2012. ISSN 01678809.

BENT, A. Reconnecting Farms and Ecosystems: If It Pays. **Science**, v. 298, p. 1340-1341, 2002.

BILENCA, D.; MIÑARRO, F. **Identificación de Áreas Valiosas de Pastizal (AVPs) en Las Pampas Y Campos de Argentina, Uruguay y Sur de Brasil**. 1º. Buenos Aires: Fundación Vida Silvestre Argentina, 2004. 323 ISBN 950-9427-11-x.

BOSERUP, E. **The Conditions of Agricultural Growth: The Economics of Agrarian Change under Population Pressure**. London: George Allen & Unwin Ltd Ruskin, 1965. 108 ISBN 978-0202307930.

BURNEY, J. A.; DAVIS, S. J.; LOBELL, D. B. Greenhouse gas mitigation by agricultural intensification. **Proc Natl Acad Sci U S A**, v. 107, n. 26, p. 12052-7, Jun 29 2010.

CARVALHO, P. C. F. et al. **Produção Animal no Bioma Campos sulinos**. Brazilian Journal of Animal Science. João Pessoa. 35: 156-202 p. 2006(a).

CARVALHO, P. C. D. F. et al. **Manejo da Integração Lavoura- Pecuária para a região de clima subtropical.** Encontro Nacional de Plantio Direto na Palha. Uberaba: FEBRAPD: 177-184 p. 2006(b).

CARVALHO, P. C. S. D. F.; BATELLO, C. Access to land, livestock production and ecosystem conservation in the Brazilian Campos biome: The natural grasslands dilemma. **Livestock Science**, v. 120, n. 1-2, p. 158-162, 2009. ISSN 18711413.

CEZAR, I. M. et al. **Sistemas de Produção de Gado de Corte no Brasil: Uma Descrição com Ênfase no Regime Alimentar e no Abate.** MAPA. Campo Grande - MS: Embrapa Gado de Corte: 40 p. 2005.

COOMES, O. T. et al. Leveraging total factor productivity growth for sustainable and resilient farming. **Nature Sustainability**, v. 2, n. 1, p. 22-28, 2019. ISSN 2398-9629.

COSTANZA, R. et al. The Value of the World's Ecosystem Services and Natural Capital. **Nature**, v. 387, 1997.

CRUZ, R. C.; GUADAGNIN, D. L. **Uma Pequena História Ambiental do Pampa: Proposta de uma Abordagem Baseada na Relação entre Perturbação e Mudança:** UFSM: 25 p. 2012.

EWERS, R. M. et al. Do increases in agricultural yield spare land for nature? **Global Change Biology**, v. 15, n. 7, p. 1716-1726, 2009. ISSN 13541013 - 13652486.

FAO. **The future of food and agriculture: Alternative pathways to 2050: Supplementary Material.** Rome. 2: 64 p. 2018.

FAUBA. **Análisis de la evolución de la producción, del área sembrada y del precio del cultivo de soja.** Apuntes Agroeconómicos. Buenos Aires: Faculdade de Agronomia. 1: 1-4 p. 2003.

FISCHER, J.; MEACHAM, M.; QUEIROZ, C. A Plea for Multifunctional Landscapes. **Frontiers in Ecology and Environment**, v. 15, n. 2, p. 59-59, 2017.

FOLEY, J. A. et al. Solutions for a cultivated planet. **Nature**, v. 478, n. 7369, p. 337-42, Oct 12 2011. ISSN 1476-4687 (Electronic) 0028-0836 (Linking). Disponível em: < <https://www.ncbi.nlm.nih.gov/pubmed/21993620> >.

FONTANELI, R. S. et al. Sistemas ILPF e Transferência de Tecnologia nos Estados do RS e Santa Catarina. In: SKORUPA, L. A. J. e MANZATTO, C. V. (Ed.). **Sistemas de Integração Lavoura-Pecuária-Floresta no Brasil: Estratégias Regionais de Transferência de Tecnologia, Avaliação da Adoção e de Impactos.** Brasília DF: EMBRAPA, 2019. cap. 8, p.281-313. ISBN 978-85-7035-949-0.

GODFRAY, H. C. et al. Food Security: The Challenge of Feeding 9 Billion People. **Science**, v. 327, 2010.

GOTTSCHALL, C. S. Impacto Nutricional na Produção de Carne; Curva de Crescimento. In: LOBATO, J. F. P.; BARCELLOS, J. O. J., *et al.* (Ed.). **Produção de Bovinos de Corte**. Porto Alegre: EDIPUCRS, 1999. p.169-192.

HASENACK, H. *et al.* **PROBIO Cobertura vegetal do bioma Pampa**. Porto Alegre - RS: UFRGS IB - Centro de Ecologia: 15-23 p. 2007.

HOLDEN, C. Nixon Offers Large, Mixed Bag on Environment. **Science**, v. 171, n. 3972, p. 659, 1971.

HERTEL, T. W.; RAMANKUTTY, N.; BALDOS, U. L. Global market integration increases likelihood that a future African Green Revolution could increase crop land use and CO2 emissions. **Proc Natl Acad Sci U S A**, v. 111, n. 38, p. 13799-804, Sep 23 2014. ISSN 1091-6490 (Electronic) 0027-8424 (Linking). Disponível em: < <https://www.ncbi.nlm.nih.gov/pubmed/25201962> >.

IBGE BIOMAS. 2019 Disponível em: < <https://www.ibge.gov.br/geociencias/informacoes-ambientais/estudos-ambientais/15842-biomas.html?=&t=downloads> >. Acesso em: 27/11/2019.

IBGE. Censo Agropecuário 2017: Resultados Definitivos. AGROPECUÁRIA. Rio de Janeiro: Ministério da Economia: Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística. 8: 1-105 p. 2019.

IBGE. Conceitos e Métodos: Metadados. **Estatísticas econômicas; Agricultura, pecuária, produção florestal, pesca e aquicultura**, 2020. Disponível em: < <https://metadados.ibge.gov.br/consulta> >. Acesso em: 03/04.

JONES, K. R. *et al.* One-third of Global Protected Land is Under Intense Human Pressure. **Science**, v. 360, p. 788-791, 2018.

KEULEN, H. V.; SCHIERE, H. **Crop-livestock systems: old wine in new bottles**. 4th International Crop Science Congress. Brisbane 2004.

LAMBIN, E. F.; MEYFROIDT, P. Global land use change, economic globalization, and the looming land scarcity. **Proc Natl Acad Sci U S A**, v. 108, n. 9, p. 3465-72, Mar 1 2011. ISSN 1091-6490 (Electronic) 0027-8424 (Linking). Disponível em: < <https://www.ncbi.nlm.nih.gov/pubmed/21321211> >.

LIMA, D. O. D.; CROUZEILLES, R.; VIEIRA, M. V. C. Integrating strict protection and sustainable use areas to preserve the Brazilian Pampa biome through conservation planning. **Land Use Policy**, v. 99, 2020.

MATTE, A.; WAQUIL, P. D. Productive changes in Brazilian Pampa: impacts, vulnerabilities and coping strategies. **Natural Hazards**, v. 102, n. 1, p. 469-488, 2020. ISSN 0921-030X 1573-0840.

MAPBIOMAS. Projeto MapBiomass **Coleção V.4.1 da Série Anual de Mapas de Cobertura e Uso de Solo do Brasil**, 2020. Disponível em: < <https://mapbiomas.org> >. Acesso em: 02/06.

MEDEIROS, A. N. A. R. et al. **Estatísticas da Proteína Animal no RS**. Porto Alegre: FEE e SEAPI. 1: 12 p. 2017.

MEYFROIDT, P. et al. Middle-range theories of land system change. **Global Environmental Change**, v. 53, p. 52-67, 2018. ISSN 09593780.

MMA. Aquífero Guarani. **Recursos Hídricos, Aquífero Guarani**, 2020. Disponível em: < <https://www.mma.gov.br/informma/item/8617-aquifero-guarani> >. Acesso em: 27/02.

MMA. Biomass Pampa. **Biomass**, 2020. Disponível em: < <https://www.mma.gov.br/biomass.html> >. Acesso em: 21/03.

MORAES, A. D. et al. Research on Integrated Crop-Livestock Systems in Brazil. **Revista Ciência Agrônômica**, v. 45, n. 5(Especial), p. 1024-1031, 2014(a).

MORAES, A. D. et al. Integrated crop–livestock systems in the Brazilian subtropics. **European Journal of Agronomy**, v. 57, p. 4-9, 2014(b). ISSN 11610301.

NABINGER, C. et al. Produção Animal com Base no Campo Nativo: Aplicação de Resultados de Pesquisa. In: PILLAR, V. D. P.; MÜLLER, S. C., et al. (Ed.). **Campos Sulinos: Conservação e Uso Sustentável da Biodiversidade**. Brasília: Ministério do Meio Ambiente, 2009. cap. 13, p.175-198. ISBN 9788577381173.

OLIVEIRA, T. E. D. et al. Agricultural land use change in the Brazilian Pampa Biome: The reduction of natural grasslands. **Land Use Policy**, v. 63, p. 394-400, 2017. ISSN 02648377.

PALLARÉS, O. R.; BERETTA, E. J.; MARASCHIN, G. E. The South American Campos ecosystem. In: SUTTIE, J.; REYNOLDS, S. G., et al. (Ed.). **Grasslands of the world**: FAO, 2005. cap. 5, p.171-219.

PHALAN, B. et al. How can higher-yield farming help to spare nature? **Science**, v. 351, n. 6272, p. 450-451, 2016.

PRETTY, J. Agricultural sustainability: concepts, principles and evidence. **Philos Trans R Soc Lond B Biol Sci**, v. 363, n. 1491, p. 447-65, Feb 12 2008. ISSN 0962-8436 (Print) 0962-8436 (Linking). Available in: < <https://www.ncbi.nlm.nih.gov/pubmed/17652074> >.

RAY, D. E.; SCHAFFER, H. D. **How Federal Farm Policy Influences the Structure of Our Agriculture**. Univ. of Tennessee Knoxville: Agric. Policy Analysis Institute 2005.

RENARD, D.; TILMAN, D. National food production stabilized by crop diversity. **Nature**, v. 571, n. 7764, p. 257-260, Jul 2019. ISSN 1476-4687 (Electronic) 0028-0836 (Linking). Disponível em: < <https://www.ncbi.nlm.nih.gov/pubmed/31217589> >.

ROCHA, N. S. et al. The Evaluation of the Influence of Land Surface Temperature in Energy Balance Estimated by S-Sebi Model. **ISPRS - International Archives of the Photogrammetry, Remote Sensing and Spatial Information Sciences**, v. XLII-3/W12-2020, p. 67-72, 2020. ISSN 2194-9034.

RUDEL, T. K. et al. Agricultural intensification and changes in cultivated areas, 1970-2005. **Proc Natl Acad Sci U S A**, v. 106, n. 49, p. 20675-80, Dec 8 2009. ISSN 1091-6490 (Electronic) 0027-8424 (Linking). Disponível em: < <https://www.ncbi.nlm.nih.gov/pubmed/19955435> >.

RUSSELLE, M. P.; ENTZ, M. H.; FRANZLUEBBERS, A. J. Reconsidering Integrated Crop-Livestock Systems in North America. **Agronomy Journal**, v. 99, n. 2, p. 325-334, 2007. ISSN 00021962.

SALOMONI, E.; SILVEIRA, C. L. M. D. **Acasalamento de Outono em Bovinos de Corte**. Guaíba: Ed Agropecuária, 1996. 152 ISBN 8585347090.

SACHS, J. et al. Monitoring the world's agriculture. **Nature**, v. 466, n. 7306, p. 558-60, Jul 29 2010

SCHIERE, J. B.; IBRAHIM, M. N. M.; KEULEN, H. V. The role of livestock for sustainability in mixed farming: criteria and scenario studies under varying resource allocation. **Agriculture, Ecosystems and Environment**, n. 90, p. 139-153, 2002.

SHARMA, R.; T, A.; SHARMA, R. Sustainable agriculture: Trends and opportunities for 21st Century. **Journal of Applied and Natural Science**, v. 11, n. 3, p. 666-672, 2019. ISSN 2231-5209 0974-9411.

SIKOR, T.; MÜLLER, D. The Limits of State-Led Land Reform: An Introduction. **World Development**, v. 37, n. 8, p. 1307-1316, 2009. ISSN 0305750X.

TÔRRES, N. M.; VERCILLO, U. E. Como ferramentas de modelagem de distribuição de espécies podem subsidiar ações de governo? **Natureza & Conservação**, v. 10, n. 2, p. 228-230, 2012. ISSN 16790073.

TRIGO, A.; MARTA-COSTA, A.; FRAGOSO, R. Principles of Sustainable Agriculture: Defining Standardized Reference Points. **Sustainability**, v. 13, n. 8, 2021. ISSN 2071-1050.

VARELLA, A. C. et al. **Informativo NESPro & Embrapa Pecuária Sul: bovinocultura de corte no RS** VARELLA, A. C.; BARCELLOS, J. L. O. V. J., *et al.* Porto Alegre: UFRGS. 4: 50 p. 2018.

VIEIRA-FILHO, J. E. R. **Expansão da Fronteira Agrícola no Brasil: Desafios e Perspectivas**. IPEA. Rio de Janeiro: Livraria IPEA: 31 p. 1990.

WAGGONER, P. E. How Much Land Can Ten Billion People Spare for Nature? Does Technology Make a Difference? **Technology In Society**, v. 17, n. 1, p. 17-34, 1995.

WRACHIEN, D. D. Land Use Planning: A Key to Sustainable Agriculture. **Conservation Agriculture**, p. 471-484,

Appendix A – List of municipalities within the Pampa Biome in RS.

1	Aceguá	63	Garruchos	129	São Borja
2	Agudo	64	General Câmara	130	São Francisco de Assis
3	Alegrete	65	Glorinha	131	São Gabriel
4	Alvorada	66	Gravataí	132	São Jerônimo
5	Amaral Ferrador	67	Guaíba	133	São José do Norte
6	Arambaré	68	Herval	134	São José do Sul
7	Arroio do Padre	69	Hulha Negra	135	São Leopoldo
8	Arroio do Sal	70	Imbé	136	São Lourenço do Sul
9	Arroio dos Ratos	71	Itaara	137	São Luiz Gonzaga
10	Arroio Grande	72	Itacurubi	138	São Martinho da Serra
11	Augusto Pestana	73	Itaqui	139	São Miguel das Missões
12	Bagé	74	Ivorá	140	São Nicolau
13	Balneário Pinhal	75	Ivoti	141	São Pedro do Butiá
14	Barão do Triunfo	76	Jaguarão	142	São Pedro do Sul
15	Barra do Quaraí	77	Jaguari	143	São Sebastião do Caí
16	Barra do Ribeiro	78	Jari	144	São Sepé
17	Boa Vista do Cadeado	79	Jóia	145	São Vicente do Sul
18	Boa Vista do Incra	80	Júlio de Castilhos	146	Sapucaia do Sul
19	Bossoroca	81	Lavras do Sul	147	Sentinela do Sul
20	Brochier	82	Maçambará	148	Sertão Santana
21	Butiá	83	Manoel Viana	149	Tabaí
22	Caçapava do Sul	84	Maquiné	150	Tapes
23	Cacequi	85	Maratá	151	Taquari
24	Cachoeira do Sul	86	Mariana Pimentel	152	Tavares
25	Cachoeirinha	87	Mata	153	Terra de Areia
26	Caibaté	88	Mato Queimado	154	Toropi
27	Camaquã	89	Minas do Leão	155	Torres
28	Campo Bom	90	Montenegro	156	Tramandaí
29	Candelária	91	Morro Redondo	157	Três Cachoeiras
30	Candiota	92	Mostardas	158	Triunfo
31	Canguçu	93	Nova Esperança do Sul	159	Tupanciretã
32	Canoas	94	Nova Santa Rita	160	Turuçu
33	Capão da Canoa	95	Novo Hamburgo	161	Unistalda
34	Capão do Cipó	96	Osório	162	Uruguaiana
35	Capão do Leão	97	Palmares do Sul	163	Vale Verde
36	Capela de Santana	98	Pantano Grande	164	Venâncio Aires
37	Capivari do Sul	99	Paraíso do Sul	165	Vera Cruz
38	Caraá	100	Pareci Novo	166	Viamão
39	Cerrito	101	Passo do Sobrado	167	Vila Nova do Sul
40	Cerro Grande	102	Paverama	168	Vitória das Missões
41	Cerro Largo	103	Pedras Altas		
42	Charqueadas	104	Pedro Osório		
43	Chuí	105	Pelotas		
44	Chувиска	106	Pinhal Grande		
45	Cidreira	107	Pinheiro Machado		
46	Cristal	108	Piratini		
47	Cruz Alta	109	Portão		
48	Dezesseis de Novembro	110	Porto Alegre		
49	Dilermando de Aguiar	111	Quaraí		
50	Dois Irmãos	112	Quevedos		
51	Dom Feliciano	113	Restinga Seca		
52	Dom Pedrito	114	Rio Grande		
53	Dom Pedro de Alcântara	115	Rio Pardo		
54	Eldorado do Sul	116	Rolador		
55	Encruzilhada do Sul	117	Roque Gonzales		
56	Entre-Ijuis	118	Rosário do Sul		
57	Estância Velha	119	Salto do Jacuí		
58	Esteio	120	Sant'Ana do Livramento		
59	Eugênio de Castro	121	Santa Cruz do Sul		
60	Fazenda Vila Nova	122	Santa Margarida do Sul		
61	Formigueiro	123	Santa Maria		
62	Fortaleza dos Valos	124	Santa Vitória do Palmar		
		125	Santana da Boa Vista		
		126	Santiago		
		127	Sto Antônio da Patrulha		
		128	Sto Antônio das Missões		

CAPÍTULO 5 - IMPACTOS BIOFÍSICOS DA MUDANÇA DO USO DA TERRA NO BIOMA PAMPA

RESUMO: Incrementos nas taxas de mudança do uso da terra no bioma Pampa são devidos principalmente à conversão de áreas de pastagens naturais para a agricultura de grãos e pecuária em pastagens cultivadas. Todas as atividades humanas e da natureza, estão sujeitas às leis da termodinâmica, causando diferentes níveis de impactos biofísicos. Os sistemas agropecuários de produção de alimentos, também estão sujeitos a essas leis. Neste estudo, analisamos o impacto biofísico da conversão do uso da terra em unidades de manejo com atividade bovinocultura de corte em pastagens naturais (UP_i), para uso da terra em unidades de manejo que integram lavouras com bovinocultura de corte (UI_i), no bioma Pampa do RS, Brasil. A análise emergética, fundamentada nas leis da termodinâmica, foi utilizada em 16 amostras oriundas de unidades de manejo sob diferentes regimes de uso da terra, divididas em 8 conjuntos. Cada conjunto, formado por uma unidade UP_i (pecuária em pastagens naturais) e uma unidade UI_i , que pode ser: $UI_A = arroz + pecuária$ ou $UI_S = soja + pecuária$. O objetivo do estudo foi comparar o grau de insustentabilidade entre as unidades de manejo, sob diferentes regimes de uso da terra, com base nos recursos utilizados e examinar a relação entre a energia incorporada em produtos da agropecuária (E_p), com os impactos biofísicos dos diferentes tipos de uso da terra. Quando não consideramos na análise, a energia de produto econômico (E_p), seja pecuária, arroz ou soja, as unidades UP_i apresentaram os melhores resultados, com impacto biofísico reduzido, em relação as unidades UI_i avaliadas. No entanto, ao incluir a E_p na análise, os sistemas UI_i maximizaram a E_p , por unidade de carga ambiental (E_p/ELR^*^{-1}), e apresentaram os melhores índices de transformidade (T_r). A conversão de UP_i para UI_i : resultou em mais $E_p \cdot ha^{-1}$, suscitando novas discussões relacionadas ao nível de impacto biofísico sustentável.

Palavras-Chave: intensificação agrícola, entropia, integração agricultura-pecuária, Bioma Pampa

5.1. INTRODUÇÃO

O aumento nas demandas por bens e serviços para as sociedades, provocou surgimento de novas tecnologias de produção, exploração e transformação de recursos (Zaman, 2020; Tian et al., 2021). Na agricultura e na pecuária não foi diferente. Como a atividade de produção de alimentos é fundamental a vida, assim como a manutenção de serviços que a natureza provê, as formas de uso da terra confrontam-se com os limites biofísicos dos recursos que a humanidade deve gerenciar. A necessidade de utilizar os recursos naturais escassos e finitos de maneira racional tem sido recorrentemente debatida na literatura científica (Georgescu-

Roegen, 1977 e 1979; Odum, 1988 e 1996; Costanza, 1992; Daly, 1996; Foley et al. 2011; Artuzo et al., 2021), por governos e órgãos internacionais (FAO, 2018; MAES, 2015).

Recursos naturais são insumos essenciais para as economias desenvolvidas ou ainda em desenvolvimento (Cabral, Sousa e Canêdo-Pinheiro, 2020). O Brasil, com seis diferentes biomas (Jesus, 2020), se destaca entre as nações do mundo como portador de recursos para produção de alimentos e por consequência, importante gestor desses elementos fundamentais (Couto et al., 2021). O bioma Pampa, um dos biomas do Brasil, é composto por grande biodiversidade e representa uma porção de, aproximadamente, 200 mil Km², na fração que está situada no estado do Rio Grande do Sul – Brasil (MAPBIOMAS, 2020). O bioma Pampa se estende pelos territórios do Uruguai, Argentina e parte do Paraguai, ocupando um total de aproximadamente 500.000 Km² entre os quatro países. Sua formação complexa, é constituída por diversas fitofisionomias, como extensas áreas de pastagens, matas de galeria, matas ciliares e encostas (Caumo et al., 2021). O bioma desempenha um importante papel na produção de alimentos (Oliveira et al., 2017), que não pode ser ignorado no planejamento de sua proteção. Os primeiros relatos de bovinos criados no Pampa remontam ao século XVII e desde então, a carne e os laticínios são produtos da região (Litre, 2010). Posteriormente, as áreas de cultivo também foram implantadas, principalmente a soja, o arroz, o trigo e as florestas cultivadas, reduzindo a cobertura de pastagens nativas (Oliveira et al., 2017; Cezimbra et al., 2021). Estudos apontam que a biodiversidade tem sido ameaçada pela expansão agrícola, silvicultura, urbanização e introdução de espécies forrageiras exóticas (Ebling et al., 2021; Altmann e Berger Filho, 2020). Nesse sentido, o bioma encontra-se em franca mudança quanto ao uso da terra e a intensificação do uso de recursos naturais utilizados pelos sistemas de produção agropecuários.

Diferentes estudos propuseram avaliar a mudança do uso da terra no bioma Pampa, principalmente focando na sua sustentabilidade (Vasconcelos et al., 2018; Lima, Crouzeilles e Vieira, 2020; Freitas, Oliveira e Oliveira, 2019). No entanto, o bioma Pampa carece de estudos analisando os impactos termodinâmicos da mudança do uso da terra, principalmente com a introdução da soja e do arroz em áreas onde outrora havia pastagens nativas. Dos diferentes tipos de impactos que podem ser observados nos sistemas agrícolas, os impactos termodinâmicos geralmente são desconsiderados (Artuzo et al., 2021). Para superar essa limitação,

propomos uma avaliação biofísica da produção agrícola integrada (UI_i), comparada a produção pecuária tradicionalmente desenvolvida em pastagens naturais (UP_i), com base em um critério objetivo, fundamentado nas leis da física. A contabilidade emergética desenvolvida por Odum (1996) e Brown e Ulgiati (2004) e utilizada no presente estudo, permite avaliar o desempenho termodinâmico dos sistemas agrícolas analisados. A análise faz uso da energia solar incorporada nos insumos do sistema, como unidade de medida. Desta forma, a energia é definida como a soma de todos os recursos, da natureza e da economia, expressos em energia solar equivalente – sej, incorporados direta ou indiretamente (seja na forma de energia, matéria, trabalho humano ou trabalho na natureza) na produção de um determinado produto.

As análises utilizaram os valores equivalentes em energia, dos recursos utilizados na produção de alimentos comercialmente, durante um ciclo de um ano. Foram comparadas unidades de manejo integradas com agricultura e pecuária e unidades de manejo com pecuária desenvolvida exclusivamente em campos naturais. As comparações consideraram principalmente: a) níveis biofísicos de insustentabilidade dos sistemas; e b) a relação entre o uso de recursos biofísicos e a geração de energia incorporada na forma de produtos dos sistemas.

Tomando a sustentabilidade do ponto de vista da termodinâmica, sempre haverá perda de parte da energia envolvida em um processo natural segundo a 2ª lei da termodinâmica (Odum, 1996). Portanto, parece admissível tratarmos com o termo insustentabilidade, como forma de reconhecimento da incapacidade de dispor de sistemas agrícolas totalmente eficientes na conversão de energia em produto. O exame de agroecossistemas sob a ótica da contabilidade emergética, pode apoiar tomadas de decisão na direção de sistemas agrícolas mais eficientes, sendo possível redesenhá-los e melhorá-los, a fim de buscar sistemas que maximizem a geração de energia na forma de produtos e reduzam impactos negativos sob aspectos ecológicos, econômicos e sociais a longo prazo.

5.2. METODOLOGIA

5.2.1 Caracterização do local

O estudo foi realizado em propriedades rurais, situadas no Bioma Pampa (Figura 1). A parte do bioma localizada no Brasil está restrita ao Estado do Rio Grande do Sul, corresponde a 2% do território brasileiro (Silva et al., 2012) e é caracterizada

por uma área de transição entre o clima tropical e temperado, com verões quentes, invernos frios e solos rasos. As características do clima desempenham um papel significativo na composição das espécies vegetais do bioma Pampa, onde predominam gramíneas (Caumo et al., 2021) que favorecem as atividades pecuárias. Os campos naturais do bioma fornecem alimento especialmente para o gado bovino criado em sistemas extensivos, quase-autossuficientes e com pequena dependência de insumos externos.

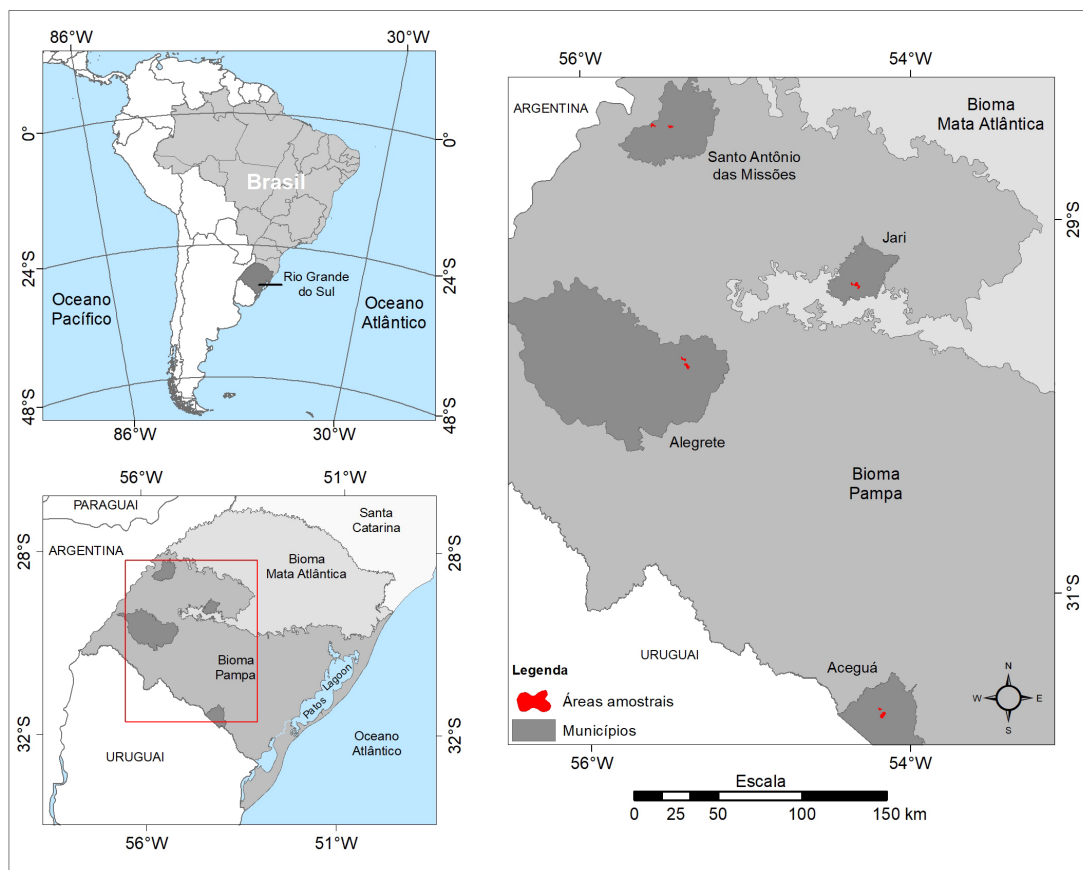


Figura 9. Distribuição das Unidades amostrais dentro do bioma Pampa, Rio Grande do Sul, Brasil.

Fonte: Autor

5.2.2 Coleta de dados

Os dados foram obtidos por meio de entrevistas estruturadas, realizadas com os proprietários ou arrendatários, que utilizam as unidades de manejo amostradas. As entrevistas ocorreram ao longo do ciclo produtivo, que se iniciou no mês de junho de 2019 e se encerrou em junho de 2020. Foram coletados dados de 16 unidades de manejo, dentro de fazendas, situadas no bioma Pampa, conforme destacado na figura

1. Estas unidades de manejo encontravam-se sob diferentes regimes de exploração da terra. As áreas amostrais são, portanto, unidades de manejo de fazendas da região. As escolhas dos conjuntos de unidades de manejo foram feitas por critérios de semelhança em paisagem, relevo e solo, porém, sob diferentes regimes de uso da terra. Buscou-se, fundamentalmente, pares de áreas passíveis de comparação, por apresentarem características similares e proximidade geográfica. Cada par de unidades de manejo, formou um conjunto. Os conjuntos de áreas das unidades (Tabela 1), ficaram constituídos por uma unidade de pecuária em pastagens naturais (UP_i) e seu par denominado sistema integrado (UI_i). O tamanho médio das unidades de manejo de (UP_i) e (UI_i), foi de 113,03 ha e 120,17 ha, respectivamente.

Tabela 1. Composição dos conjuntos de unidades de manejo.

Conjunto	Unidades UP_i	Sigla	Área *	Unidades UI_i	Sigla	Área *
1	Pecuária/pastagens naturais	UP_1	208	Arroz irrigado & Pecuária/pastagens cultivadas	UI_{A1}	107
2	Pecuária/pastagens naturais	UP_2	98,7	Soja & Pecuária/pastagens cultivadas	UI_{S2}	77,3
3	Pecuária/pastagens naturais	UP_3	92,6	Soja & Pecuária/pastagens cultivadas	UI_{S3}	192
4	Pecuária/pastagens naturais	UP_4	209	Soja & Pecuária/pastagens cultivadas	UI_{S4}	203
5	Pecuária/pastagens naturais	UP_5	102	Soja & Pecuária/pastagens cultivadas	UI_{S5}	96,1
6	Pecuária/pastagens naturais	UP_6	105	Arroz irrigado & Pecuária/pastagens cultivadas	UI_{A6}	25
7	Pecuária/pastagens naturais	UP_7	35	Soja & Pecuária/pastagens cultivadas	UI_{S7}	91
8	Pecuária/pastagens naturais	UP_8	54	Arroz irrigado & Pecuária pastagens cultivadas	UI_{A8}	170

Nota: *área das unidades de manejo em hectares (ha)

A análise emergética requer a contabilização de insumos admitidos pelos sistemas produtivos e os respectivos produtos gerados. Os insumos utilizados nas unidades, são parte dos recursos utilizados no processo de produção. Os *produtos* provenientes das unidades de manejo foram contabilizados de acordo com as informações de colheita de grãos e do ganho de peso vivo dos animais ao longo do ciclo anual. A estimativa utilizada para contabilização do *produto* (*quilos de peso vivo, produzidos no período*) da pecuária foi estabelecida pela diferença de peso entre a entrada e de saída de animais, das unidades de manejo, durante o ciclo anual. Todos os dados referentes aos insumos e produtos utilizados, foram normalizados e apresentados em unidades por hectare (ha). As perdas de solo aplicadas nas unidades produtivas

utilizaram a técnica RUSLE⁵. Os dados meteorológicos, como a precipitação anual, a velocidade média do vento e a pressão atmosférica foram coletados no site da National Aeronautics and Space Administration - NASA (power.larc.nasa.gov), de acordo com os pontos de referência da localização geográfica de cada unidade de manejo (Apêndice 2).

5.2.3 Descrição das unidades de manejo analisadas.

Cada unidade de manejo UI_i , foi comparada a uma unidade de manejo análoga, UP_i . As unidades de manejo UP_i , compreendem pecuária de bovinos de corte, desenvolvida em pastagens naturais do bioma Pampa, durante todo o ano. Já, as unidades de manejo UI_A , utilizam arroz irrigado no verão e pecuária em pastagens cultivadas no inverno, enquanto, UI_S , soja no verão e pecuária em pastagens cultivadas no inverno. As 16 amostras foram analisadas em pares, formando 8 conjuntos. Do total dos conjuntos, 3 UI_A combinando-se com 3 UP_i e 5 conjuntos UI_S com 5 UP_i (Figura 10).

Unidades de manejo com Pecuária em pastagens naturais – UP_i : As áreas amostradas com pastagens naturais não sofreram nenhuma alteração como revolvimento de solo, dessecação ou implantação de lavouras ou pastagens cultivadas nos últimos 10 anos. Tratam-se de sistemas extensivos, com baixo uso de insumos externos, tendo as pastagens naturais do bioma Pampa como base de alimento para os animais. Os dados referentes aos ganhos produtivos foram calculados a partir da evolução de peso das categorias de animais no dentro do ciclo produtivo analisado. A exceção foram as matrizes bovinas adultas, cuja finalidade é a reprodução e desta forma, preconizamos que as vacas adultas adicionam sua produção em quilos de peso vivo, por meio do ganho de peso de seus produtos. Os ganhos de peso das fêmeas bovinas do nascimento até o início da fase reprodutiva, foram contabilizados de acordo com a evolução do peso vivo. Os ganhos de peso vivo das matrizes descartadas da reprodução, em fase de engorda para abate, também foram contabilizados de acordo com as evoluções de peso durante o período avaliado.

⁵ RUSLE - Modelo para estimar a perda do solo pela erosão hídrica, desenvolvida por Wischmeier e Smith em 1965. Sua fórmula é: $A = R \cdot K \cdot L \cdot S \cdot C \cdot P$ (PAIVA, 2001). Sendo:

A= perda anual de solo do solo (ton./ha/ano) devido ao escoamento superficial

R= fator de erosividade, 0,03 a 0,79 ton./MJ/ha/(mm/h)

LS= fator de declividade e comprimento de encosta (adimensional)

C= fator de prática de cultura variando de 0,001 a 1,0 (adimensional)

P= fator de pratica de cultura contra erosão que varia de 0,3 a 1,0 (adimensional)

O consumo de água para os bovinos foi estabelecido de acordo com Rótolo (2007) - em 55 litros por animal/dia.

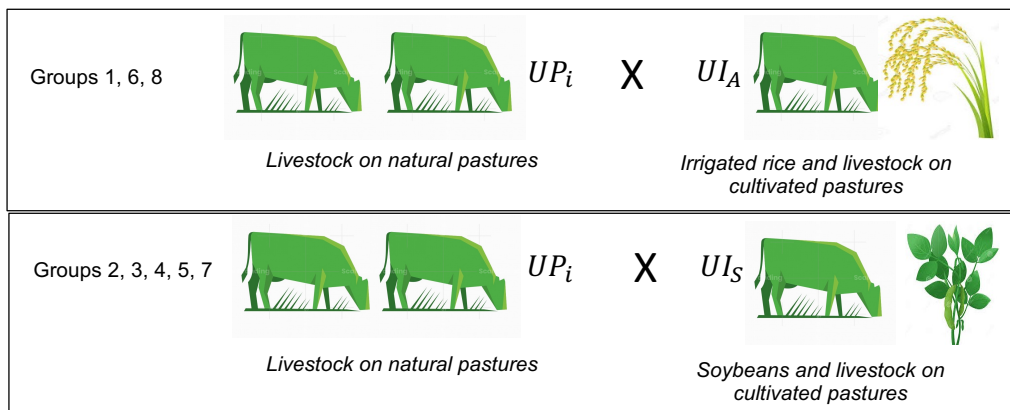


Figura 10. Modelo comparativo entre unidades de manejo no Bioma Pampa

Fonte: Autores

Unidades de manejo integrando soja e pecuária em pastagens cultivadas (UI_S): Operam utilizando a terra com lavoura de soja no verão em sucessão com forrageiras no inverno. As forrageiras são utilizadas em pastoreio direto com bovinos de corte e ou servem como cobertura do solo para o plantio direto da soja no ano subsequente. O *output* dos animais foi estimado de acordo com o ganho de peso. O período da semeadura da soja ocorreu entre os meses de outubro a dezembro de 2019 e a colheita entre os meses de fevereiro e abril de 2020. Nos intervalos entre a colheita de uma safra de grãos e o plantio da safra seguinte, as áreas são utilizadas com bovinos de corte nas pastagens cultivadas, caracterizando sistemas integrados de produção Lavoura-pecuária. Ao final do ciclo de um ano as unidades UI_i tem como produto a Soja e o aumento de peso vivo dos bovinos.

Unidades de manejo integrando Arroz irrigado e pecuária em pastagens cultivadas (UI_A): Utiliza-se a terra com lavoura de arroz em sucessão com forrageiras de inverno. A finalidade dos cultivos de forrageiras é a colheita por meio de pastoreio direto com bovinos de corte. Períodos de pousio no inverno são comuns nestas áreas úmidas. O plantio do arroz ocorreu entre os meses de outubro e dezembro de 2019 e a colheita entre os meses de fevereiro e abril de 2020.

5.2.4 Análise emergética

A análise emergética se baseou nos trabalhos de Odum (1996) e Brown e Ulgiati (2004). Odum (1996) definiu a emergia como a quantidade de energia disponível (exergia), direta ou indiretamente, para gerar uma unidade de produto. Do ponto de vista da energia ecológica, os fluxos de energia em um sistema ecológico-econômico podem ser transformados em uma unidade de medida padrão, a partir de uma taxa de conversão (Merlin e Boileau, 2016). Assim, a contabilidade emergética usa as bases termodinâmicas de todas as formas de energia para convertê-las em um mesmo formato de energia: a emergia expressa em joules de energia solar equivalente, ou Emjoules solares – sej (Odum, 1996; Brown e Ulgiati, 2004). Maiores detalhes sobre a análise emergética podem ser vistos nos trabalhos de Rótolo et al. (2006), Alfaro-Arguello et al. (2010), Vigne et al. (2013), Zhao et al. (2020), Reis et al. (2021) e Artuzo et al. (2021).

5.2.5 Análise emergética dos conjuntos de sistemas

Foram computados todos os *inputs* e os *output* dos sistemas, a fim de analisar o fluxo de energia (Figura 11). Os *outputs* são considerados a energia gerada na forma de produtos comercializáveis na economia: E_p . Os *inputs* são representados pela emergia total do sistema ($Y_{emergia}$), compreende o somatório da emergia dos recursos da natureza ($I_{emergia}$) e da economia ($F_{emergia}$): $Y_{emergia} = I_{emergia} + F_{emergia}$. O $I_{emergia}$ é o somatório dos recursos renováveis ($R_{emergia}$) e não renováveis ($N_{emergia}$) da natureza: $I_{emergia} = R_{emergia} + N_{emergia}$. Já o $F_{emergia}$ compreende o somatório dos materiais ($M_{emergia}$) e serviços ($S_{emergia}$) da economia: $F_{emergia} = M_{emergia} + S_{emergia}$. Os materiais e o serviços da economia são divididos em frações renováveis (M_r e S_r) e não renováveis (M_n e S_n). Assim, o $F_{emergia}$ pode ser calculado da seguinte forma: $F_{emergia} = M_r + M_n + S_r + S_n$.

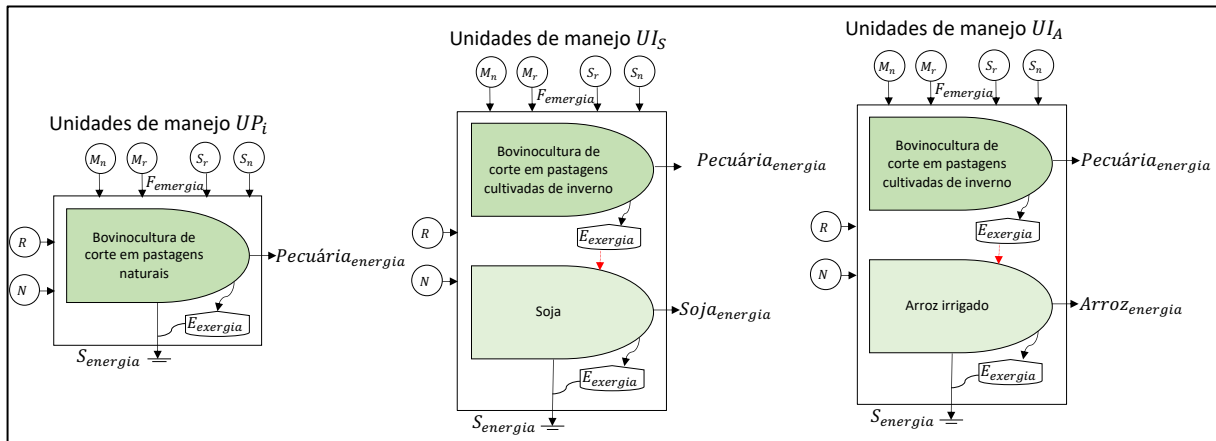


Figura 11. Modelo conceitual - Fluxos de energia UP_i e dos sistemas UI_S e UI_A

Nota: $F_{energia}$ = Entradas da economia; M_r = Fração renovável dos materiais da economia; M_n = Fração não renovável dos materiais da economia; S_r = Fração renovável dos serviços da economia; S_n = Fração não renovável dos serviços da economia; R = Recursos renováveis da natureza; N = Recursos não renováveis da natureza; $S_{energia}$ = Entropia do sistema; $E_{exergia}$ = Energia disponível no estoque do sistema.

Fonte: Autor

5.2.6 Índices emergéticos para análise comparativa dos sistemas produtivos

A partir dos dados dos fluxos de energia foram calculados os índices para cada unidade de manejo - UP_i e UI_i . Os índices baseados em energia são utilizados para avaliar o status ambiental, ecológico e econômico de sistemas (Odum, 2000, Brown e Ulgiati, 2004). A partir do objetivo desta pesquisa, os índices utilizados foram: transformidade (T_r), renovabilidade (%R), taxa de eficiência emergética (EYR*), taxa de investimento emergético (EIR), taxa de carga ambiental (ELR*) e índice emergético de insustentabilidade (EUI_{AS}) (Tabela 3).

Tabela 3 - Índices selecionados para avaliação dos Sistemas Agrícolas

Índice	Equação	Descrição	Fonte
T_r	$T_r = \frac{Y}{E_p}$	A Transformidade representa a capacidade de converter energia que entra no sistema (Sej) em energia de saída na forma de produto (J).	Brown e Ulgiati (2004)
%R	$\%R = \frac{(R + M_r + S_r)}{Y} * 100$	Percentual entre a energia dos recursos renováveis em relação a energia total do sistema.	Ortega e Bacic (2018)
EYR*	$EYR^* = \frac{Y}{M_n + S_n}$	Medida da incorporação de energia da natureza. Mensura a quantidade de energia da natureza que o processo retorna ao setor econômico.	Ortega et al., (2002)
EIR	$EIR = \frac{M_n + S_n}{R + N + M_r + S_r}$	Representa a contribuição da economia sobre a contribuição da natureza.	Ortega e Bacic (2018)
ELR*	$ELR^* = \frac{N + M_n + S_n}{R + M_r + S_r}$	Razão entre o somatório dos valores emergéticos dos recursos não renováveis da economia e da natureza, sobre o somatório dos valores de energia dos recursos renováveis da economia e da natureza.	Ortega et al., (2002)
EUI_{AS}	$EUI_{AS} = \frac{ELR^*}{EYR^*}$	Relação entre a carga ambiental e a eficiência emergética, o qual considera as frações renováveis de cada recurso.	Artuzo et al., (2021)

Fonte: Autor

Adicionalmente, o indicador de eficiência dos sistemas será calculado a partir das unidades de E_p incorporadas aos produtos por unidade de ELR^* . O ELR^* tem o potencial para avaliar a pressão causada pelo sistema produtivo no ecossistema. Cada sistema apresenta um nível de pressão, porém, é preciso avaliar a relação E_p por unidade de pressão. A eficiência dos sistemas foi calculada com base nas Equações 1 e 2.

$$ES = \frac{E_p}{ELR^*} \quad (\text{Equação 1})$$

$$ES = \frac{E_p}{\frac{N+M_n+S_n}{R+M_r+S_r}} \quad (\text{Equação 2})$$

Os valores de ES indicam a quantidade de E_p por unidade de pressão do sistema. Quanto maior for o ES mais eficiente é o sistema na incorporação de E_p . Em compensação, quanto menor for o ES maior pressão o ecossistema receberá do sistema produtivo para incorporação de E_p . Sistemas produtivos possuem objetivos socioeconômicos, com a finalidade de produzir itens de interesse comercial, em especial alimentos. Quanto menor for a produção do E_p maior será a necessidade de novas áreas para atender a demanda por alimentos.

5.3. RESULTADOS

5.3.1 Análise dos *inputs* em UP_i e UI_i

Os *inputs* da economia e dos fluxos de recursos naturais de cada conjunto são demonstrados na figura 4. A $Y_{emergia}$ das unidades, é dividida nas frações renováveis e não renováveis. A mesma divisão ocorre para os insumos da economia (M e S) e da natureza (R e N). Os valores de emergia dos *inputs* foram convertidos em sej ha⁻¹ ano⁻¹. Todas as variações entre $Y_{emergia}$ nas unidades UP_i e UI_i confirmam maiores entradas de insumos nas amostras UI_i : a) conjunto 1 = 239,09%; b) conjunto 2 = 194,14%; c) conjunto 3 = 137,269%; d) conjunto 4 = 169,91%; e) conjunto 5 = 125,83%; f) conjunto 6 = 205,00%; g) conjunto 7 = 184,83% e; h) conjunto 8 = 312,76%. A média da $Y_{emergia}$ nos sistemas UI_{Ai} , UI_{Si} e UP_i são, respectivamente, 1,18E+16 sej ha⁻¹ ano⁻¹ ($\pm 2,78E+15$), 9,10E+15 sej ha⁻¹ ano⁻¹ ($\pm 1,89E+15$) e 3,44E+15 sej ha⁻¹ ano⁻¹ ($\pm 6,30E+15$). As unidades UI_{Ai} , e UI_{Si} possuem uma variação de 244,73% e 164,76%, respectivamente, na $Y_{emergia}$, em comparação com as unidades UP_i . Todas as UI_i

apresentaram $Y_{emergia}$ superior as UP_i , indicando maiores entradas totais de recursos em UI_i .

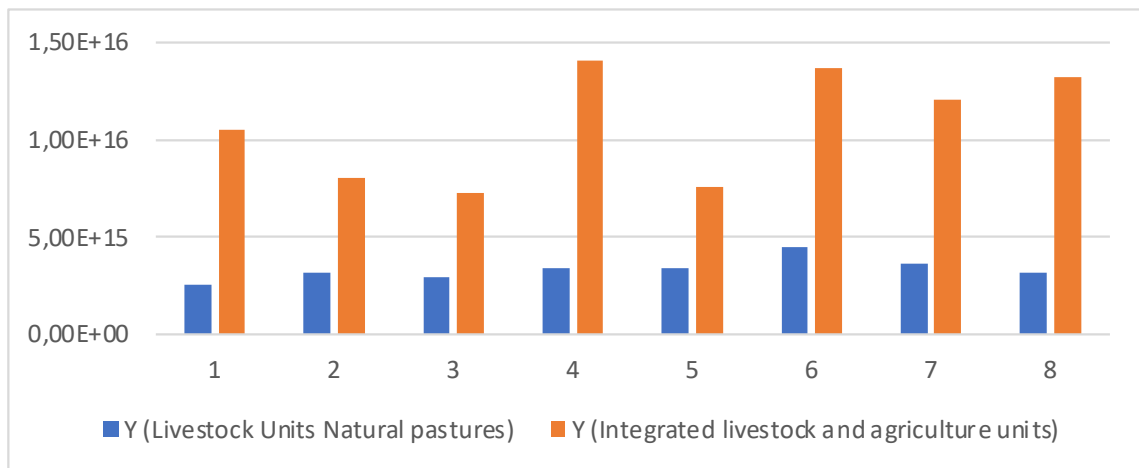


Figura 12 – Aportes de Energia (Y) por tipo de uso da terra

Fonte: autor

5.3.2 Recursos Renováveis da Natureza (R)

Os recursos renováveis da natureza foram compostos pelo sol, chuva, vento e nitrogênio atmosférico. O nitrogênio atmosférico esteve presente nas unidades UI_S . A energia potencial química da chuva foi a de maior valor entre os insumos ambientais renováveis para todos os sistemas. A participação da chuva nos recursos renováveis da natureza variou de 55,65% (UI_{S4}) a 96,28% (UI_{A1}). Pela proximidade das áreas de manejo de cada conjunto, o valor absoluto energético da chuva foi semelhante. A pluviosidade anual nos locais das amostras variou entre 1.521,3 a 1.759,5 mm/ano (NASA 2021). As unidades integradas de produção UI_i receberam um aporte energético relativo a chuva da ordem de 16,6% a 34,4% do total de energia ($Y_{emergia}$) aportada. Sendo que, em média, 24,87% da energia que entrou nos sistemas é proveniente das chuvas. No que se refere a contribuição das chuvas para UP_i ; variaram entre 54,6% e 91,16% do total da energia de entrada nos sistemas. A média da contribuição das chuvas na quantidade total de $Y_{emergia}$ das 8 amostras de UP_i , foi de 74,25%.

5.3.3 Recursos não Renováveis da Natureza (N)

A perda de solo e o uso de água subterrânea são os dois componentes não renováveis da natureza (N). A participação de N na $Y_{emergia}$ variou de 0,6% (UP_6) a

49,50% (UI_{A1}). Com exceção do conjunto 4, os demais conjuntos tiveram uma maior participação das unidades UI_i em relação as UP_i . Em relação aos valores absolutos, a UI_{A2} apresentou o maior N ($4,78E+15$ sej ha⁻¹ ano⁻¹) e a UP_6 o menor N ($2,70E+13$ sej ha⁻¹ ano⁻¹). Todos as UI_i apresentaram valores superiores de N em relação as UP_i . A maior variação se deu no conjunto 6, com 17627,50% ($UP_6 = 2,70E+13$ sej ha⁻¹ ano⁻¹; $UI_{A2} = 4,78E+15$ sej ha⁻¹ ano⁻¹), e a menor variação ocorreu no conjunto 4, com 78,51% ($UP_4 = 8,24E+13$ sej ha⁻¹ ano⁻¹; $UI_{S3} = 1,47E+14$ sej ha⁻¹ ano⁻¹). As perdas médias de solo estimadas (Apêndice 1) foram da ordem de 16,37 toneladas por hectare/ano para unidades com lavoura de soja, 11,36 toneladas por hectare/ano para unidades integradas com arroz irrigado e 1,53 toneladas por hectare/ano de perda de solo, dentro das unidades produtivas, cujo uso da terra compreende exclusivamente pecuária de corte em pastagens naturais. Os campos naturais são manejados no sistema de produção de carne da região, mantendo cobertura vegetal e acumulando menores estimativas de perdas de solo (OVERBECK et al., 2009). Portanto, a parcela de insumos ambientais não renováveis é mais alta nas UI_i , principalmente devido à quantidade de erosão do solo e à perda de recursos hídricos.

5.3.4 Materiais e serviços da economia (M e S)

A energia proveniente de M foi superior em todas as UI_i , quando comparados as UP_i . A participação de M no $Y_{energia}$ nas unidades UI_i , variou de 19,82% (UI_{S2}) a 53,30% (UI_{S3}); já a participação de M no $Y_{energia}$ para UP_i ficou entre 0,41% (UP_4) a 3,67% (UP_8). Quando comparadas as unidades dentro de cada conjunto, os valores de M nos sistemas UI_i são superiores àqueles das unidades UP_i . A maior diferença ocorreu no conjunto 4, comparando UP_4 e UI_{S3} de 35107,05% ($UP_4 = 1,39E+13$ sej ha⁻¹ ano⁻¹; $UI_{S3} = 4,90E+15$ sej ha⁻¹ ano⁻¹), e a menor variação, no conjunto 7, entre UP_7 e UI_{S5} , de 3606,52% ($UP_7 = 1,50E+14$ sej ha⁻¹ ano⁻¹; $UI_{S5} = 5,54E+15$ sej ha⁻¹ ano⁻¹). As unidades UI_i , pela inclusão de novas culturas em áreas de campo nativo, como a soja e o arroz, demandaram maiores quantidades de insumos externos provenientes da economia, o que eleva a energia dos sistemas referentes ao M. Já, a força de trabalho (S) tem uma baixa participação entre os insumos energéticos para todos os conjuntos.

5.4 Análise dos índices emergéticos

A comparação entre os índices emergéticos nas unidades UP_i e UI_i , dos diferentes conjuntos, pode auxiliar na identificação e análise dos efeitos biofísicos (Figuras 5 e 6). A análise possibilita a proposição de procedimentos eficientes, a fim de direcionar os sistemas para uma agricultura intensiva e sustentável. Os índices são úteis para identificar os melhores procedimentos de manejo para atingir a meta de agricultura sustentável em sistemas produtivos agropecuários do bioma Pampa.

5.4.1 Rendimento (E_p) e Transformidade (T_r)

De acordo com os dados coletados, a energia contida nos produtos gerados em UI_i foi superior a energia contida nos produtos gerados nos sistemas UP_i . A variação positiva de cada conjunto demonstra que unidades integradas, com soja ou arroz, acumularam valores de E_p maiores (valor médio $E_p = 8,33E+10$), em comparação aos sistemas UP_i (valor médio $E_p = 1,23E+09$) (Figura 13).

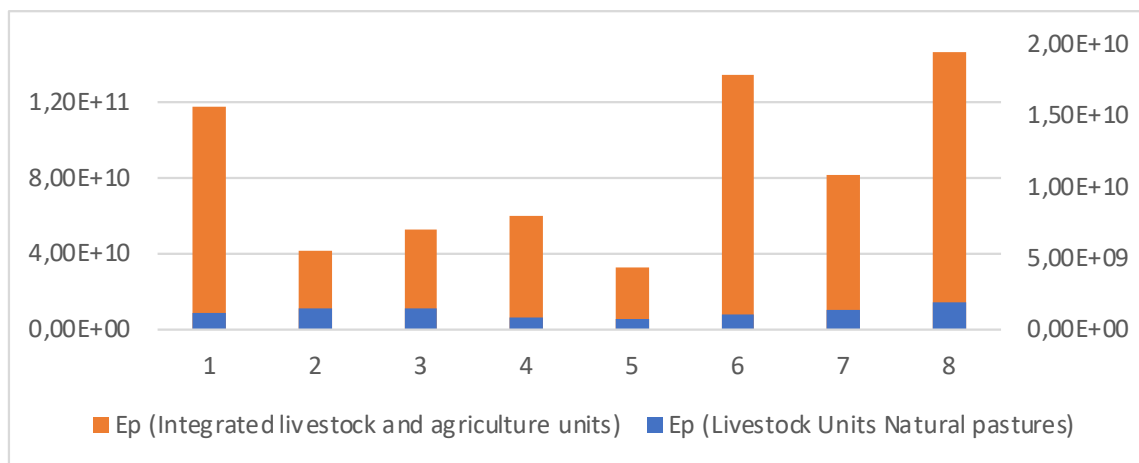


Figura 13 – Comparação de E_p , entre UP_i e UI_i .

Fonte: autor

A T_r demonstrou maiores rendimentos dos sistemas UI_i - com variação negativa na comparação entre UP_i e UI_i . Maior valor de T_r significa menor desempenho dos sistemas de produção no meio ambiente (Odum, 1996). As diferenças entre as unidades de manejo, no que tange aos valores de T_r entre UP_i e UI_i , estão descritas na figura 06a. A média geral da T_r de todas as unidades, foi de $1,60E+06$ sej/J, sendo a média das unidades UP_i de $3,05E+06$ sej/J e a média das UI_i de $1,53E+05$ sej/J. Destaca-se que o menor valor de T_r entre as amostras, está no sistema UI_{A1} , mostrando a maior capacidade de conversão da energia total de entrada no sistema,

em energia incorporada aos produtos de saída, quando comparada com as outras amostras de UI_{A_i} e UI_{S_i} .

5.4.2 Renovabilidade (R%)

A R% é calculada dividindo-se a energia dos recursos renováveis (R, Mr, Sr) pela $Y_{energia}$ (Odum, 2000; Brown e Ulgiati, 2004). Em geral, os sistemas ou processos de produção com maior participação de recursos energéticos renováveis tendem a ser mais sustentáveis em comparação com os sistemas que utilizam mais recursos energéticos não renováveis (Brown e Ulgiati, 2004). Porém, o R% não leva em consideração o E_p dos sistemas. Nessa situação, é preciso analisar o R% com ressalvas, principalmente ao analisar sistemas agrícolas que tem por objetivo a geração de energia na forma de produto, seja, arroz, soja ou carne. Ao avaliar o R%, unidades UP_i apresentaram valores superiores em relação a UI_i . A média geral de R% dos sistemas foi de 68,84%, sendo que a média do sistema UP_i e UI_i foi, respectivamente, de 94,81% e 42,87%. A proporção entre recursos renováveis totais (%R) e o total de entradas de energia nas UP_i analisadas, variou entre 90% e 97%. Indicando uso de 3% a 10% de recursos totais não renováveis.

A Renovabilidade (%R) dos sistemas integrados (UI_i variou entre 24,2% a 63,9%, com média entre as amostras de 42,9%. O maior percentual de Renovabilidade entre o conjunto de amostras dos sistemas integrados de uso da terra, foi encontrado na amostra UI_{S5} SIS₅ e a menor renovabilidade foi encontrada no sistema UI_{A8} , conforme mostrado na figura 14b, abaixo.

Nitrogênio (N)	M	0,0E+00	0,0E+00	0,0E+00	8,6E+10	8,5E+12	8,6E+12	0,0E+00	0,0E+00	0,0E+00	7,5E+12	7,5E+14	7,5E+14	0,0E+00	0,0E+00	0,0E+00	1,1E+12	1,1E+14	1,1E+14	0,0E+00	0,0E+00	0,0E+00	5,4E+12	5,3E+14	5,4E+14
Fósforo (P)	M	0,0E+00	0,0E+00	0,0E+00	4,7E+12	4,7E+14	4,7E+14	0,0E+00	0,0E+00	0,0E+00	3,7E+12	3,6E+14	3,7E+14	0,0E+00	0,0E+00	0,0E+00	6,3E+12	6,3E+14	6,3E+14	0,0E+00	0,0E+00	0,0E+00	4,5E+12	4,5E+14	4,5E+14
Potássio	M	0,0E+00	0,0E+00	0,0E+00	3,4E+12	3,4E+14	3,4E+14	0,0E+00	0,0E+00	0,0E+00	4,2E+12	4,2E+14	4,2E+14	0,0E+00	0,0E+00	0,0E+00	5,5E+12	5,4E+14	5,5E+14	0,0E+00	0,0E+00	0,0E+00	7,0E+12	6,9E+14	7,0E+14
Calcário	M	0,0E+00	0,0E+00	0,0E+00	0,0E+00	0,0E+00	0,0E+00	0,0E+00	0,0E+00	0,0E+00	0,0E+00	0,0E+00	0,0E+00	0,0E+00	0,0E+00	0,0E+00	3,4E+14	2,5E+15	2,8E+15	0,0E+00	0,0E+00	0,0E+00	0,0E+00	0,0E+00	0,0E+00
Herbicidas	M	0,0E+00	0,0E+00	0,0E+00	1,1E+12	1,1E+14	1,1E+14	0,0E+00	0,0E+00	0,0E+00	4,9E+11	4,9E+13	4,9E+13	0,0E+00	0,0E+00	0,0E+00	1,3E+12	1,3E+14	1,3E+14	0,0E+00	0,0E+00	0,0E+00	1,1E+12	1,1E+14	1,1E+14
Inseticidas	M	0,0E+00	0,0E+00	0,0E+00	4,5E+11	4,4E+13	4,5E+13	0,0E+00	0,0E+00	0,0E+00	5,6E+09	5,5E+11	5,6E+11	0,0E+00	0,0E+00	0,0E+00	4,3E+11	4,3E+13	4,3E+13	0,0E+00	0,0E+00	0,0E+00	1,5E+11	1,5E+13	1,5E+13
Fungicidas	M	0,0E+00	0,0E+00	0,0E+00	6,5E+11	6,4E+13	6,5E+13	0,0E+00	0,0E+00	0,0E+00	7,5E+10	7,4E+12	7,5E+12	0,0E+00	0,0E+00	0,0E+00	2,0E+12	2,0E+14	2,0E+14	0,0E+00	0,0E+00	0,0E+00	1,0E+11	1,0E+13	1,0E+13
M Total		3,8E+11	1,9E+13	1,9E+13	1,3E+14	1,5E+15	1,7E+15	4,3E+12	5,9E+13	6,3E+13	5,9E+13	3,5E+15	3,5E+15	3,9E+12	1,5E+14	1,5E+14	5,4E+14	5,0E+15	5,5E+15	6,3E+11	1,2E+14	1,2E+14	1,3E+14	5,1E+15	5,3E+15
Mão de obra	S	1,2E+13	2,7E+13	3,9E+13	3,2E+13	7,4E+13	1,1E+14	4,1E+13	9,6E+13	1,4E+14	3,3E+14	7,7E+14	1,1E+15	8,8E+13	2,0E+14	2,9E+14	2,1E+13	5,0E+13	7,1E+13	6,8E+12	1,6E+13	2,3E+13	5,4E+13	1,3E+14	1,8E+14
S Total		1,2E+13	2,7E+13	3,9E+13	3,2E+13	7,4E+13	1,1E+14	4,1E+13	9,6E+13	1,4E+14	3,3E+14	7,7E+14	1,1E+15	8,8E+13	2,0E+14	2,9E+14	2,1E+13	5,0E+13	7,1E+13	6,8E+12	1,6E+13	2,3E+13	5,4E+13	1,3E+14	1,8E+14
Y		3,3E+15	8,7E+13	3,4E+15	4,9E+15	2,7E+15	7,6E+15	4,3E+15	1,8E+14	4,5E+15	5,6E+15	8,1E+15	1,4E+16	3,3E+15	9,6E+14	4,2E+15	5,0E+15	7,1E+15	1,2E+16	3,0E+15	1,7E+14	3,2E+15	4,2E+15	9,1E+15	1,3E+16

Nota: FR: Fluxo renovável (sej ha⁻¹ ano⁻¹); FNR: Fluxo não renovável (sej ha⁻¹ ano⁻¹); TFE: Fluxo de energia total (sej ha⁻¹ ano⁻¹).

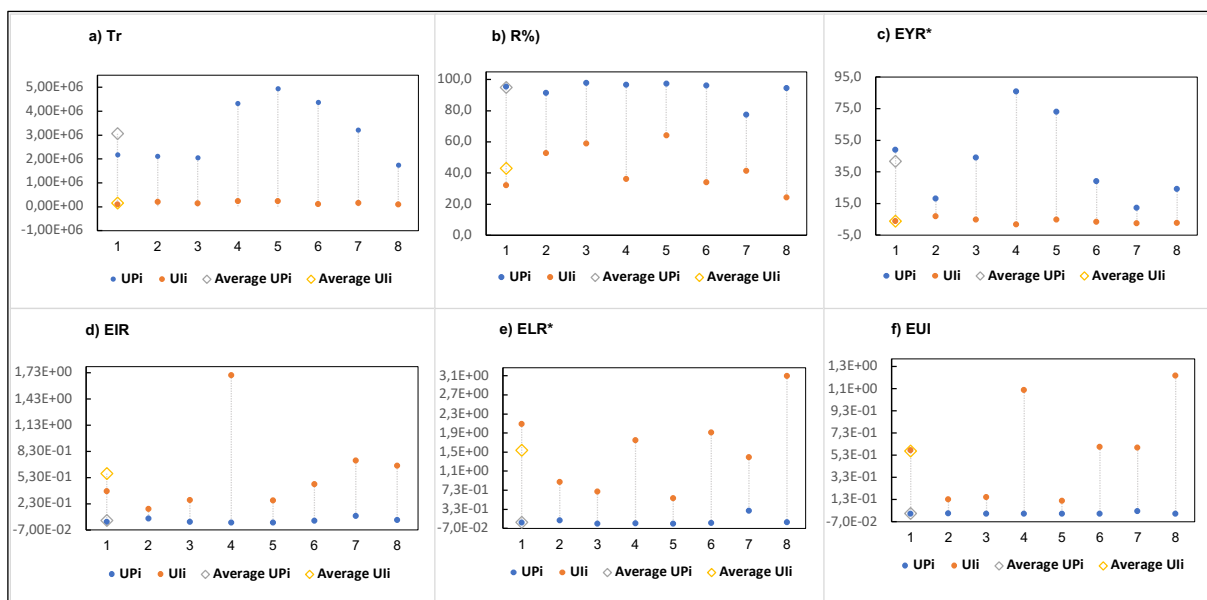


Figura 14 - Índices emergéticos nos 8 conjuntos de unidades de manejo amostradas e as médias de cada índice por tipo de uso da terra.

Fonte: Autor

5.4.3 Taxa de Eficiência Emergética (EYR*)

O EYR* é a razão entre a $Y_{emergia}$ e a energia não renovável adquirida da economia (M_n e S_n) (Ortega et al., 2002). Desta forma, valores menores refletem maiores quantidades de recursos não renováveis da economia, com relação a $Y_{emergia}$.

O EYR* é amplamente utilizado como critério para indicar a capacidade de um processo em absorver recursos e não renováveis por meio do investimento em recursos econômicos. O valor superior de EYR* indica uma maior proporção de recursos emergéticos livres que é utilizada no processo (Odum, 2000; Brown e Ulgiati, 2004). Valores menores de EYR* indicam uma menor participação de recursos locais no processo de produção e dependência total de recursos adquiridos na economia. As UP_i apresentaram maiores valores de EYR* em comparação as UI_i (figura 06c). Áreas de campo nativo demandam menos recursos da economia no seu processo de produção quando comparado a sistemas integrados com o cultivo de soja ou arroz. A média geral de EYR* foi de 22,57, sendo que o EYR* para as UP_i e UI_i foi, respectivamente, 41,44 e 3,71. A média dos valores EYR* para sistemas integrados foi de 3,71E+00, sendo o maior valor de 6,86E+00 na amostra UI_{S2} e o menor valor 1,54E+00 da amostra UI_{S4} .

5.4.4 Taxa de Investimento Emergético (EIR)

O EIR é calculado para avaliar se o uso de recursos não renováveis da economia tem alguma contrapartida do uso de recursos naturais. É possível mensurar a proporção de energia retroalimentada do setor econômico em relação às entradas de energia da natureza. Quanto maior for o índice, maior é a quantidade utilizada de recursos providos pela economia. Amostras das UI_i apresentaram os maiores valores de EIR em comparação a UP_i . A média geral do EIR foi de $3,08E-01$, sendo a média das amostras UP_i e UI_i , respectivamente, de $3,94E-02$ e $5,77E-01$ (Figura 06d)

5.4.5 Taxa de Carga Ambiental (ELR*)

O ELR* adaptado por Ortega et al. (2002) indica a proporção de energia derivada de todos os recursos não renováveis (N , M_n e S_n) em relação aos recursos renováveis (R , M_r e S_r). O índice pode ser utilizado para mensurar a pressão ambiental derivada das atividades econômicas de produção e como critério da pressão humana potencial causada por um processo sobre o ambiente ao seu redor, levando em consideração a pressão exercida pelos recursos não renováveis (Odum, 2000). Valores altos de ELR* na comparação entre unidades, indicam maiores pressões ambientais para os ecossistemas locais devido ao uso de recursos não renováveis. O ELR* nas unidades UI_i foi superior ao ELR* nas unidades UP_i (figura 06). A média geral do ELR* foi de 0,81, sendo a média dos sistemas UP_i e UI_i , respectivamente, 0,05 e 1,56. Com exceção aos conjuntos 3 e 5, os demais conjuntos apresentaram valores de ELR*, para unidades UI_i , superiores à média geral. A diferença entre UP_i e UI_i de cada conjunto foi: UP_1 e $UI_{A1} = 4,10E+03\%$; UP_2 e $UI_{S2} = 8,54E+02\%$; UP_3 e $UI_{S2} = 2,80E+03\%$; UP_4 e $UI_{S3} = 4,67E+03\%$; UP_5 e $UI_{S5} = 1,95E+03\%$; UP_6 e $UI_{A6} = 4,50E+03\%$; UP_7 e $UI_{S7} = 1,20E+03\%$ e; UP_8 e $UI_{A8} = 5,24E+03\%$. A variação positiva representa aumento do ELR* na mudança de pastagens naturais para sistemas integrados. Os valores de ELR* encontrados nos sistemas UP_i indicam baixas taxas de carga ambiental. Os valores de ELR* ficaram entre $1,01E-01$ a $2,41E-02$, com média de $5,55E-02$. Estes índices colocam as UP_i em uma classificação de baixa insustentabilidade (SANTOS, 2020).

As Taxas de Carga Ambiental (ELR*) nas UI_i analisados obtiveram a média de $1,57E+00$, com destaque na amostra UI_{A8} com valor de $3,13E+00$. O menor valor de

carga ambiental entre os sistemas UI_{Si} e UI_{Ai} , foi encontrado na amostra UI_{S5} e foi de $5,64E-01$, enquanto o maior valor deste índice nas UI_i , foi encontrado na amostra UI_{A8} (figura 06e).

5.4.6 Índice Emergético de Insustentabilidade (EUI_{AS})

O EUI_{AS} avalia níveis de insustentabilidade agrícola, considerando as frações renováveis e não renováveis na relação entre o ELR* e o EYR* (ARTUZO et al., 2021). O índice está fundamentado na segunda lei da termodinâmica a qual considera que todo o processo, por mais eficiente que seja, gerará entropia. Nesse sentido, por mais eficiente que seja o sistema agrícola, ele ainda exibirá certo nível de insustentabilidade. Amostras UI_i apresentam maiores níveis de insustentabilidade em relação aos sistemas UP_i . A média geral do EUI_{AS} dos sistemas foi de $2,58E-01$, sendo a média dos sistemas UP_i e UI_i , respectivamente, de $2,77E-03$ e $5,67E-01$. Com exceção aos conjuntos 2, 3 e 5 os demais conjuntos apresentaram valores de EUI_{AS} , para unidades UI_i , superiores à média geral (figura 06f).

5.5. DISCUSSÃO

O bioma Pampa tem passado por mudanças no uso da terra devido, principalmente, à conversão da vegetação campestre natural, para a agricultura de grãos – soja e arroz (Cezimbra et al., 2021; Valmorbidia et al., 2018; Oliveira et al., 2017). O impacto biofísico dessa mudança precisa ser avaliado.

O ecossistema é uma comunidade de organismos vivos, em conjunto com os componentes não vivos de seu ambiente, interagindo como um sistema. Esses componentes bióticos e abióticos estão ligados entre si por meio de ciclos de nutrientes e fluxos de energia, não destinados a uma finalidade econômica e de maximização da sua produtividade. Já os agroecossistemas, são induzidos pelo ser humano, a fim de fornecer um serviço de provisionamento específico para a economia (Zabala, Martínez-Paz e Alcon, 2021). Os agroecossistemas são os sistemas de produção socioecológicos complexos vulneráveis à degradação (Dubey et al., 2021), porém, são sistemas essenciais de suporte à vida humana no planeta Terra. Os agroecossistemas representam, aproximadamente, 40% do sistema terrestre e fornecem, alimento, ração, fibra e forragem (Dubey et al., 2021; Power, 2010). Diferentes dos ecossistemas, os agroecossistemas possuem o objetivo de maximizar um produto para fins econômicos. Assim, a análise do impacto biofísico de

agroecossistema sofre alteração ao incluir ou excluir da análise o produto de fins econômico gerado pelo sistema (E_p) e a sua necessidade de geração.

5.5.1 Níveis Biofísicos dos Sistemas Agrícolas Negligenciando E_p

A mudança no uso da terra maximizou os impactos biofísicos em áreas do Bioma Pampa. As amostras UI_i , demonstraram baixa renovabilidade em comparação a todos os demais – UP_i (Renovabilidade de UP_1 a $UP_8 \geq 90,11\%$) e UI_i , (UI_{A1} : 32,07%, UI_{A6} : 33,98% e UI_{A8} : 24,23%) (UI_{S2} : 52,6%, UI_{S3} : 58,8%, UI_{S4} : 36,01%, UI_{S5} : 63,9% e UI_{S7} : 41,3%) (Figura 4). Assim, a soja e o arroz irrigado em áreas de pastagens naturais reduziram a renovabilidade do agroecossistema. Essa redução é explicada pela necessidade de insumos produtivos externos providos pela economia. Estudos na literatura científica já apontam que o aumento de insumos da economia nos sistemas agrícolas reduz a renovabilidade dos sistemas, principalmente pelo aumento da energia das frações não renováveis (Artuzo et al., 2021; Wang et al., 2019; Jafari et al., 2018). As culturas da soja e do arroz, demandam maiores quantidades de energia proveniente da economia (M e S), principalmente na forma de fertilizantes, pesticidas (herbicidas, inseticidas, herbicidas) e combustíveis, que apresentam baixa fração renovável (Tabela 3).

A necessidade de insumos da economia nas unidades integradas (UI_i), provenientes da mudança no uso da terra, resultaram na redução da eficiência energética (EYR*) (Tópico 3.2.3) e no aumento da taxa de investimento energético (EIR) (Tópico 3.2.4), da carga ambiental (ELR*) (Tópico 3.2.5) e do índice energético de insustentabilidade (EUI_{AS}) (Tópico 3.2.6). Este comportamento foi identificado em todos os conjuntos (Figura 6). Assim, pelo fato de que cada conjunto compreendeu diferentes regiões do Bioma Pampa, e cada par pertencente a cada conjunto estavam em áreas geográficas próximas, pode-se supor uma tendência de que este comportamento ocorra em todo o Bioma Pampa.

Na medida em que os valores de $Y_{energia}$ se distanciam dos valores energéticos dos recursos não renováveis da economia (M_n e S_n) os sistemas produtivos tornam-se menos dependentes de recursos que não são renováveis. Assim, os sistemas se mostram menos dependentes destes recursos, com relação ao total de energia, quando comparados com sistemas integrados de produção, ainda que as amostras 7

e 2 das unidades de soja e pecuária, tenham se aproximado dos valores de seus pares com sistemas UP_i , como se vê na Figura 6.

A comparação da Carga Ambiental ELR* entre os sistemas UP_i e UI_i , resultou em uma diferença média, de 1,50, com destaque para a diferença de 3,07 encontrada no conjunto 8. O conjunto 8 possui o maior valor no somatório referente aos recursos não renováveis (N, M_n, S_n) e o menor valor no somatório dos recursos renováveis (R, M_r, S_r) entre as amostras UP_{Si} e UP_{Ai} . Os valores de ELR*, tornam-se indicativos de menores impactos sobre recurso não renováveis, na medida em que os valores do somatório dos numeradores (recursos não renováveis da natureza e da economia) se aproximam do somatório dos denominadores (recursos renováveis da natureza e da economia). No quadro geral, os sistemas UP_i obtiveram em todas as amostras, menores relações de recursos não renováveis para recursos renováveis (ELR*), o que indica menores níveis de insustentabilidade para estes sistemas. As amostras 5, 3 e 2, todas pertencentes a sistemas UI_i , se aproximaram dos sistemas UP_i , em Carga Ambiental (ELR*), assim como as amostras 7 e 2, das unidades UI_i se aproximaram dos sistemas UP_i em eficiência Emergética (EYR*), mostrando que alguns formatos de uso de recursos nos sistemas integrados da região avaliada, podem apresentar cargas ambientais menos dependentes de recursos escassos não renováveis, tanto da natureza quanto da economia, assim como nos índices de Eficiência Emergética e, portanto, menos insustentáveis sob estes aspectos, pois se aproximam de seus pares com sistemas UP_i . A possibilidade de que existam microrregiões com maior potencial produtivo e portanto, com menores necessidades de aportes externos de recursos para a agricultura, em comparação com outras microrregiões do Pampa, podem explicar essas relações mais próximas com as unidades de manejo com pecuária em pastagens naturais.

Um dos principais problemas na avaliação da sustentabilidade das atividades e fontes potenciais de energia é a interação entre os impactos ambientais e as contribuições líquidas para os processos econômicos. Não há uma tendência clara na relação do EYR com o ELR e estes dois índices fornecem uma medida agregada de compatibilidade com a economia e com o meio ambiente (BROWN e ULGIATI, 1997).

Quanto ao grau de Insustentabilidade (EUI_{AS}), todos os sistemas integrados apresentaram maiores índices de insustentabilidade quando comparados com unidades UP_i . Martin et al. (2006), encontraram resultados semelhantes comparando

sistemas com maiores entradas de recursos da economia, com sistemas que utilizam baixos volumes de recursos externos da economia como é o caso da pecuária em pastagens naturais do bioma Pampa. Portanto, as UP_i também são menos insustentáveis sob o exame do índice EUI_{AS} , consolidando a pecuária em pastagens naturais como sistemas menos insustentáveis em comparação aos sistemas integrados (UI_{Si} e UI_{Ai}) dentre as amostras pesquisadas.

As diferenças detectadas entre os pares quanto aos níveis de insustentabilidade EUI_{AS} foi em média de 0,56 entre as amostras nos diferentes usos do solo. Contudo, as maiores diferenças alcançaram valor de 1,12 entre as amostras do par 4 e 1,24 entre as amostras do par número 8 (Figura 04). Entre as amostras dos pares 2, 3 e 5, houve grande proximidade nos valores do índice de insustentabilidade (EUI_{AS}), com a média da diferença entre os três pares em 0,13. As mesmas amostras 2, 3 e 5 (UI_i) apresentam as menores entradas de energia e também as menores quantidades de energia de saída entre os sistemas integrados, conforme a Figura 6.

As amostras que resultaram nos maiores níveis de insustentabilidade foram a amostra 8 (UI_{A8}) e a amostra 4 (UI_{S8}). As amostras 8 e 4 fazem parte do grupo com maior aporte de energia Y entre os pares, contudo, somente a amostra 8 está no grupo dos maiores resultados em energia de produto E_p .

Diante da resposta à primeira questão proposta no texto, coloca-se a ponderação da importância entre graus de insustentabilidade e energia produzida pelo sistema. Pois os sistemas menos insustentáveis das amostras analisadas, são menos produtivos sob o olhar da energia de produto resultante do sistema. A FAO (2018) estima crescimento entre 39 a 54% nas demandas mundiais por cereais até 2050. Assim, os sistemas com maior capacidade de transformação de insumos, utilizando menores proporções de recursos não renováveis em relação aos recursos renováveis utilizados na produção, podem demonstrar menor insustentabilidade com relação a sistemas mais onerosos para os estoques de recursos escassos. Investimentos em sistemas mais eficientes podem reforçar a estruturação do pilar sócio econômico da produção de alimentos. Além disso, existe a necessidade de que os sistemas de produção de alimentos resultem em grandes rendimentos dependentes de recursos renováveis (MARTIN et al., 2006).

Essa análise do impacto biofísico da mudança do uso da terra não incorpora o E_p gerado na forma de produto pelos sistemas. Assim, trata-se do impacto biofísico

no ecossistema independentemente do foco dos sistemas na geração e maximização do E_p na forma de produtos para fins econômicos. Ao ignorar o fato da necessidade de geração de E_p na forma de produtos econômicos (quantidade de energia gerada na forma de soja, arroz e gado), os sistemas de pecuária em pastagem natural provocaram os menores impactos biofísicos em todos os conjuntos analisado. Neste sentido, a próxima seção discute as relações entre o retorno energético dos sistemas com o uso de recursos dentro das amostras analisadas.

5.5.2 Níveis Biofísicos dos Sistemas Agrícolas Incorporando E_p

Estudando a sustentabilidade da pecuária a pasto, Zhao (2020) encontrou maiores índices de suporte da atividade a longo prazo quando sistemas com pastagens cultivadas são comparados com sistemas tradicionais de pastejo em áreas naturais, mostrando a importância ecológica dos sistemas integrados e também a importância alimentar fundamental diante dos aumentos na demanda e na necessidade de segurança alimentar. Assim, áreas de pastagens cultivadas podem ser uma vantagem para áreas naturais que sofrem menores pressões de pastoreio e possibilidade de recuperação total de suas funções ecológicas. Da mesma forma, podemos analisar os sistemas mistos de produção no bioma Pampa, diante de novas demandas por alimentos. Parece razoável, portanto, verificarmos algumas relações entre a energia de produto E_p , a energia de entrada Y , (Figura 6) e o ELR^* , buscando examinar resultados das cargas ambientais em recursos não renováveis, tanto da natureza quanto da economia e dos serviços, quanto a produção de alimento das unidades de manejo.

As amostras dos sistemas UP_i evidenciam que: dos quatro exemplos analisados com maior aporte total de energia de entrada Y (amostras com valores em ordem decrescente, 6, 7, 4 e 5; Figura 6), entre todas as amostras destes sistemas, apenas uma delas coincide com as quatro maiores quantidades de energia de produto E_p (amostras 8, 2, 3 e 7; Figura 6). Já nos sistemas Integrados, das quatro amostras com maiores aportes de energia Y (amostras 4, 6, 8 e 1), três delas coincidem com os maiores resultados em energia de produto (amostras 8, 6, 1 e 7; Figura 6). Portanto, há evidências que sugerem relação mais direta entre a energia dos recursos (Y) e a energia de produtos (E_p) nas unidades que se utilizam de sistemas integrados, comparadas aos sistemas UP_i , com destaque para os sistemas UI_{Ai} que apresentaram

os menores índices de transformidade entre os sistemas mistos e as maiores quantidades de Y e de E_p entre as UI_i .

No caso das amostras UP_i , os quatro menores valores de T_r (amostras com valores em ordem crescente, 8, 3, 2, 1) não coincidem com os maiores valores de Y e sim com os menores valores de Y. Já, os maiores valores de T_r das amostras UP_i coincidem com os maiores valores de Y dos sistemas UP_i , apontando em desfavor desses sistemas no requisito transformidade, quando os aportes energéticos Y são maiores.

A transformidade (T_r) é o índice que leva em consideração o E_p , possibilitando mensurar a quantidade de energia solar (sej) necessária para gerar uma unidade de produto (J), como a soja, o arroz e o gado. Assim, é possível avaliar a eficiência do sistema e a qualidade do fluxo de energia, comparando-os entre os diferentes sistemas. Por exemplo, todos os conjuntos UP_i apresentaram os menores valores de E_p (Figura 5) e os maiores valores para T_r , em comparação aos sistemas UI_{Ai} e UI_{Si} (Figura 6a). Isso demonstra que, levando em consideração a quantidade de Y, os sistemas com soja (UI_{Si}) e arroz (UI_{Ai}) foram mais eficientes na geração de energia na forma de produto econômico, em comparação aos sistemas de pecuária em campo nativo (UP_i); sendo possível visualizar pela variação negativa de T_r ($UP_i \rightarrow UI_{Ai}$ e $UP_i \rightarrow UI_{Si}$) para cada conjunto (Tópico 3.2.1). Ainda, quando observamos os valores de T_r em paralelo ao percentual do total dos recursos renováveis (%R) sobre a quantidade total de energia Y, os sistemas UP_i são superiores aos sistemas integrados em todas as situações. Assim, a capacidade superior de transformação (T_r) dos sistemas mistos, ocorrem juntamente com um menor percentual de recursos renováveis utilizados nestes mesmos sistemas.

Os sistemas UI_{Si} e UI_{Ai} precisam de menores quantidades de Y para gerar E_p em comparação aos seus pares - unidades UP_i . Incluir a soja (conjunto 2, 3, 4, 5 e 7) e o arroz (conjunto 1, 6 e 8) em sistemas de pecuária em campos naturais pode reduzir em 2,08E+06 sej/J (conjunto 1: $UP_1 - UI_{A1}$), 1,91E+06 sej/J (conjunto 2: $UP_2 - UI_{S2}$), 1,90E+06 sej/J (conjunto 3: $UP_3 - UI_{S3}$), 4,09E+06 sej/J (conjunto 4: $UP_4 - UI_{S4}$), 4,70E+06 sej/J (conjunto 5: $UP_5 - UI_{S5}$), 4,25E+06 sej/J (conjunto 6: $UP_6 - UI_{A6}$), 2,59E+06 sej/J (conjunto 7: $UP_7 - UI_{S7}$),) e 1,64E+06 sej/J (conjunto 8: $UP_8 - UI_{A8}$) a energia solar equivalente necessária para gerar uma unidade de produto em cada conjunto. Porém, nem toda energia dos recursos da natureza (N e R) e da economia

(M_n , M_r , S_n , S_r), que entrou nos sistemas, foi convertida em E_p (Tabela 3). Parte da energia não convertida estará no estoque do solo ($E_{exergia}$) e parte será dissipada na forma de entropia ($S_{energia}$) (Artuzo et al., 2021). Nesse caso, não buscamos mensurar a quantidade de $S_{energia}$ e do $E_{exergia}$ dos sistemas. Para mensurar a $E_{exergia}$ e $S_{energia}$ em sistemas agrícolas é preciso um período maior de análise; sendo descrito no trabalho de Artuzo et al. (2021). No entanto, para fins de otimização da área e necessidade de se gerar E_p , os sistemas UI_{Si} e UI_{Ai} demonstraram-se mais eficiente, maximizando E_p ha^{-1} e reduzindo $Y E_p^{-1}$.

Otimizar as áreas a fim de maximizar a E_p e reduzir a carga ambiental é um dos caminhos para a intensificação sustentável. Como um sistema econômico ecológico com impacto humano, os sistemas agrícolas se beneficiam do uso de recursos não renováveis adquiridos da economia. Inúmeros estudos buscaram avaliar a sustentabilidade e o grau de intensidade dos agroecossistemas em diferentes escalas - nível nacional (Yao et al., 2014), regional (Xie et al., 2021; Chang et al., 2018) e municipal (Jin e Bian, 2010). Aqui, buscamos avaliar a intensidade dos sistemas em escala local, a partir da carga ambiental (ELR^*). O índice possibilita mensurar a pressão causada no ecossistema pelo sistema produtivo (CAVALETT, 2009). Agregamos na análise do índice o E_p , a fim de analisar a eficiência do sistema (ES) a partir da equação: $ES = \frac{E_p}{ELR^*}$. O ES possibilita mensurar a quantidade de energia gerada na forma de produto econômico por unidade de carga ambiental. Nesse caso, o índice ELR^* , envolve todos os recursos não renováveis (natureza, economia e serviços) em um indicador, que irá ser relacionado a capacidade de produzir energia dentro do sistema produtivo.

Quadro 04. Eficiência das unidades de manejo (Relação entre E_p & ELR^* das amostras).

Unidades de Manejo	1	2	3	4	5	6	7	8
UP_i ES Unidades	2 E+10	2 E+10	6 E+10	2 E+10	2 E+10	2 E+10	1 E+10	3 E+10
UI_i ES Unidades	6 E+10	5 E+10	8 E+10	3 E+10	6 E+10	7 E+10	6 E+10	5 E+10
Diferença (%) $UP_i - UI_i$	136%	185%	26%	60%	136%	183%	375%	48%

Fonte: Autores

Quando submetemos o índice da carga ambiental (ELR*) a energia resultante dos sistemas ou E_p (Quadro 04), obtemos em diferentes graus de superioridade em todas as amostras integradas (soja (UI_{Si}) e arroz (UI_{Ai}) submetidas ao exame. O maior destaque com relação ao seu par está no conjunto 7, que foi o 4º colocado no ranking de energia total de entrada e também o 4º no ranking de energia de produto final entre todos os sistemas analisados.

Valores maiores de ES , indicam maiores quantidades de energia de produto para cada fração de recurso não renovável em relação aos recursos renováveis. Portanto, valores maiores apontam para elementos favoráveis do ponto de vista da produção e provavelmente do restante dos recursos ecossistêmicos.

Valores superiores de ES foram encontrados no conjunto 3 para os dois tipos de sistema. Nenhuma das amostras do conjunto 3 fazem parte do grupo com maiores aportes de recursos, nem tão pouco, são os sistemas com maiores resultados absolutos em energia de saída. Contudo, apontam para as melhores relações entre saída de produto e impacto ambiental (ES) e ainda se mostram semelhantes, tanto na produção de proteína animal desenvolvida em ambientes naturais do bioma Pampa como em ambientes modificados do mesmo bioma, como pode se verificar no Quadro 04, pela menor diferença percentual entre os sistemas, na amostra 3. As diferenças positivas nos conjuntos 1, 2, 3, 4, 5, 6, 7, e 8: 138,50% (conjunto 1), 185,36% (conjunto 2), 25,86% (conjunto 3), 59,83% (conjunto 4), 135,51% (conjunto 5), 182,58% (conjunto 6), 374,53% (conjunto 7) e 48,24% (conjunto 8), indicam quantidades energia a mais, geradas (E_p), por unidade de ELR*, na comparação entre UP_i e UI_i , dos conjuntos. Isso significa, que a mudança do sistema de pecuária em campos naturais para sistemas de pecuária com pastagens cultivadas, com soja ou arroz no verão, possibilita maximizar o E_p por unidade de ELR*. Essa mudança proporcionaria intensificar áreas do bioma Pampa, reduzindo o impacto biofísico por unidade de energia gerada na forma de produtos para fins econômicos. A permanência dos sistemas UP_1 , UP_2 , UP_3 , UP_4 , UP_5 , UP_6 , UP_7 e UP_8 , demandaria respectivamente, um acréscimo de 100,05ha, 27,23ha, 36,54ha, 76,26ha, 48,18ha, 130,03ha, 61,49ha e 79,15ha, para gerar um E_p equivalente aos seus pares de UI_i .

Historicamente, a intensificação da agricultura foi acompanhada por consideráveis impactos biofísicos (Golub et al., 2021; Kopittke et al., 2020 e Squire et al., 2015). Isso impôs custos às economias e tornou os sistemas agrícolas menos

eficiente ambientalmente – degradando os bens e serviços dos ecossistemas. A preocupação com os impactos biofísicos mudou a forma da sociedade pensar sobre a agricultura e de como os sistemas agrícolas poderiam ser mais eficientes na produção de alimentos. O sistema de integração lavoura pecuária (UI_i) é tido na literatura, como um sistema que caminha para a sustentabilidade (Reis et al., 2021; Szymczak et al., 2020), maximizando a produtividade e reduzindo os impactos biofísicos. Ao ignorarmos o E_p , os sistemas UP_i apresentaram os melhores índices na comparação aos sistemas SI. No entanto, não se pode ignorar que os sistemas possuem um objetivo econômico de geração de E_p e que a sociedade demanda por energia. Alguns setores apontam que não seria necessário aumentar a produção agrícola se menos alimentos fossem desperdiçados (Pretty, 2018). Isso ajudaria. Porém, “não há uma varinha mágica de redistribuição de alimentos” (Pretty, 2018). Os agricultores precisam aumentar a produtividade e reduzir o nível de impacto biofísico do sistema. Assim, ao incorporarmos o E_p na análise, os sistemas UI_i (UI_{Si} e UI_{Ai}) geraram mais E_p por unidade de carga ambiental (ELR^*) e maior eficiência na otimização do uso da terra. Estas afirmações evidenciam que, as entradas de insumos externos podem gerar maior aproveitamento de recursos naturais renováveis, elevando a produção total de energia. Este mecanismo pode aumentar a sustentabilidade de um sistema, contudo, devemos comparar com sistemas semelhantes para balizar a avaliação (BROWN E ULGIATI, 1997). Erb et al. (2016) exploraram os aumentos nas demandas de alimentos por meio de um cenário hipotético de desmatamento zero até 2050; situação que provocaria grande pressão sobre áreas de pastoreio, principalmente áreas com baixa produtividade da terra utilizada com pecuária em paisagens naturais, como ocorre no bioma Pampa do Brasil e já relatado por Nabinger (2009). O que sugere que maiores rendimentos da pecuária colaborariam grandemente com a segurança alimentar e poupariam a exploração de novas áreas agrícolas.

O balanço entre a produção demandada e a manutenção do restante dos serviços ecossistêmicos, pode passar por melhorias nos rendimentos dos sistemas produtivos, onde a pecuária de corte praticada estritamente em pastagens naturais, ajusta-se aos sistemas de produção que integram a agricultura e a pecuária. As evidências mostram que sistemas integrados se aproximam dos sistemas UP_i em muitos exemplos dos índices emergéticos examinados. Estes elementos podem

indicar um ajuste entre os dois sistemas de uso do solo (UP_i , UI_{Si} e UI_{Ai}) em algumas amostras, que beneficiariam uma eficiência superior no uso de recursos.

5.6 CONSIDERAÇÕES FINAIS

A expansão, a conversão e a intensificação de áreas de cultivos estão entre as mudanças globais predominantes neste século. A intensificação da agricultura pelo uso de variedades de alto potencial produtivo, fertilizantes químicos, irrigação e defensivos agrícolas (inseticida, herbicida, fungicida), contribuíram substancialmente para o aumento na produção de alimentos nos últimos 50 anos. A expansão, a conversão e a intensificação de terras, entretanto, também alteram as interações bióticas e os padrões de disponibilidade de recursos (renováveis e não renováveis) nos ecossistemas e podem gerar consequências ambientais locais, regionais e globais. Assim, o uso de estratégias eficientes de manejo dos agroecossistemas pode aumentar a produtividade e reduzir os impactos biofísicos.

A biodiversidade, a emissão de gases e a preservação da paisagem natural são algumas das preocupações que envolvem o bioma Pampa e outras paisagens naturais. Por outro lado, a população mundial aumenta continuamente a demanda por alimentos e se soma a uma população local carente de emprego e desenvolvimento econômico, que pode ser gerado por acréscimos na produção total e por área.

Este estudo indica que a análise emergética responde a diferentes questões e preocupações, tendo por objetivo melhorar a estabilidade econômica e ambiental. Ao ignorarmos o acréscimo de energia gerada na forma de produto econômico, em áreas de conversão de pastagem natural para pastagem cultivada do bioma Pampa, com implementação da soja e do arroz no verão, os sistemas com pecuária em pastagens naturais (UP_i) geraram menor impacto biofísico no ecossistema em comparação aos sistemas SI. No entanto, ao incorporarmos na análise a energia gerada na forma de produto em cada sistema, a conversão da paisagem natural em áreas de pastagens cultivadas, com a soja e o arroz no verão, maximizou a geração de energia na forma de produto por unidade de carga ambiental do agroecossistema. A conversão de UP_i para unidades que utilizam UI_{Si} e UI_{Ai} , é uma forma de poupar a abertura de novas áreas agrícolas.

Por fim, não buscamos incentivar a mudança do uso da terra do bioma Pampa e nem negar os pontos positivos e negativos da conversão e da intensificação. Propusemos analisar os impactos biofísicos, incluindo e excluindo a produtividade (E_p)

dos sistemas na análise emergética. Os parâmetros para a escolha dos sistemas, focando em maior ou menor grau para cada tripé da sustentabilidade/insustentabilidade (ambiental, econômico e social) e/ou buscando um ponto de equilíbrio, é uma decisão da sociedade. Porém, é preciso que a sociedade tome conhecimentos das possíveis consequências para cada escolha.

Elementos externos às unidades de manejo escolhidas para o estudo, podem interferir de sobremaneira nos resultados, como derivas de produtos ou eventos climáticos locais. Ainda podemos colocar a limitação das análises em unidades de manejo e não da propriedade como um todo. E mesmo considerando esses limitantes no estudo, podemos introduzir a discussão do aproveitamento dos recursos disponíveis como uma forma de aproximação à sustentabilidade na agricultura e na pecuária do bioma Pampa.

Referências

ALFARO-ARGUELLO, R. et al. Steps Toward Sustainable Ranching: An Emergy Evaluation of Conventional and Holistic Management in Chiapas, Mexico. **Agricultural Systems**, v. 103, n. 9, p. 639-646, 2010. ISSN 0308521X.

ALTMANN, A.; BERGER FILHO, A. G. Certification and labeling for conservation of ecosystem services in the Pampa Biome: Case study of the Aliança do Pastizal scheme. **Ecosystem Services**, v. 46, 2020. ISSN 22120416.

ARTUZO, F. D. et al. Emergy unsustainability index for agricultural systems assessment: A proposal based on the laws of thermodynamics. **Sci Total Environ**, p. 143524, Nov 14 2020. ISSN 1879-1026 (Electronic) 0048-9697 (Linking). Disponível em: < <https://www.ncbi.nlm.nih.gov/pubmed/33248781> >.

BERTONI, J.; LOMBARDI-NETO, F. **Conservação de Solo**. 4. São Paulo: Icone, 1999. ISBN 85-274-0143-6.

BROWN, M. T.; ULGIATI, S. Emergy Analysis and Environmental Accounting. **Encyclopedia of Energy**, v. 2, p. 329-354, 2004.

BROWN, M. T.; ULGIATI, S. Emergy-based indices and ratios to evaluate sustainability: monitoring economies and technology toward environmentally sound innovation. **Ecological Engineering**, v. 9, p. 51-69, 1997.

BRANDT-WILLIAMS, S.; ODUM, H. T. “**Procedimento para Avaliação de Emergia Agrícola: Ilustrado com Dados da Produção de Tomates na Flórida**”. Gainesville, USA: Departamento de Ciência da Engenharia Ambiental Universidade da Florida: 15 p. 2000.

CABRAL, B. P.; SOUSA, F. L.; CANÊDO-PINHEIRO, M. Assessing the impacts of innovation barriers: a qualitative analysis of Brazil's natural resources industry. **Resources Policy**, v. 68, 2020. ISSN 03014207.

CAMPBELL, D. E. Emergy baseline for the Earth: A historical review of the science and a new calculation. **Ecological Modelling**, v. 339, p. 96-125, 2016. ISSN 03043800.

CAUMO, M. et al. Grassland community structure in Permanent Preservation Areas associated with forestry and livestock in the Pampa biome, Southern Brazil. **South African Journal of Botany**, v. 139, p. 442-448, 2021. ISSN 02546299.

CAVALETT, O.; ORTEGA, E. Emergy, nutrients balance, and economic assessment of soybean production and industrialization in Brazil. **Journal of Cleaner Production**, v. 17, n. 8, p. 762-771, 2009. ISSN 09596526.

CEZIMBRA, I. M. et al. Potential of grazing management to improve beef cattle production and mitigate methane emissions in native grasslands of the Pampa biome. **Science of The Total Environment**, v. 780, 2021. ISSN 00489697.

COSTANZA, R.; DALY, H. E. Natural Capital and Sustainable Development. **Conservation Biology**, v. 6, n. 1, 1992.

COUTO, L. C. et al. Water, waste, energy and food nexus in Brazil: Identifying a resource interlinkage research agenda through a systematic review. **Renewable and Sustainable Energy Reviews**, v. 138, 2021. ISSN 13640321.

CHANG, T. et al. Evaluation of Oasis Sustainability Based on Emergy and Decomposition Analysis. **Sustainability**, v. 10, n. 6, 2018. ISSN 2071-1050.

DALY, H. E. **Beyond Growth: The Economics of Sustainable Development**. Boston: Beacon Press, 1996.

DUBEY, P. K. et al. Steering the restoration of degraded agroecosystems during the United Nations Decade on Ecosystem Restoration. **J Environ Manage**, v. 280, p. 111798, Feb 15 2021. ISSN 1095-8630 (Electronic) 0301-4797 (Linking). Disponível em: < <https://www.ncbi.nlm.nih.gov/pubmed/33309393> >.

EBLING, É. D. et al. Event-based hydrology and sedimentation in paired watersheds under commercial eucalyptus and grasslands in the Brazilian Pampa biome. **International Soil and Water Conservation Research**, v. 9, n. 2, p. 180-194, 2021. ISSN 20956339.

EMBRAPA. Pampa. **Biomás**, 2021. Disponível em: < <https://www.embrapa.br/web/rede-ilpf/bioma/pampa> >. Acesso em: 13.04.21.

ERB, K.-H. et al. Exploring the Biophysical Option Space for Feeding the World Without Deforestation. **Nature Communications**, 2016. Disponível em: < www.nature.com/naturecommunications >.

FAO. **The future of food and agriculture: Alternative pathways to 2050: Supplementary Material**. Rome. 2: 64 p. 2018.

FOLEY, J. A. et al. Solutions for a cultivated planet. **Nature**, v. 478, n. 7369, p. 337-42, Oct 12 2011. ISSN 1476-4687 (Electronic) 0028-0836 (Linking). Disponível em: < <https://www.ncbi.nlm.nih.gov/pubmed/21993620> >.

FREITAS, D. S. D.; OLIVEIRA, T. E. D.; OLIVEIRA, J. M. D. Sustainability in the Brazilian pampa biome: A composite index to integrate beef production, social equity, and ecosystem conservation. **Ecological Indicators**, v. 98, p. 317-326, 2019. ISSN 1470160X.

GEORGESCU-ROEGEN, N. Inequality, Limits and Growth from a Bioeconomic Viewpoint. **Review of Social Economy**, v. 35, n. 3, p. 361-375, 1977. ISSN 0034-6764 1470-1162.

GEORGESCU-ROEGEN, N. Energy Analysis and Economic Valuation. **Southern Economic Journal**, v. 45, n. 4, p. 1023-1058, 1979.

GOLUB, A. et al. A real options framework for reducing emissions from deforestation: Reconciling short-term incentives with long-term benefits from conservation and agricultural intensification. **Ecosystem Services**, v. 49, 2021. ISSN 22120416.

JAFARI, M. et al. Sustainability assessment of date and pistachio agricultural systems using energy, emergy and economic approaches. **Journal of Cleaner Production**, v. 193, p. 642-651, 2018. ISSN 09596526.

JESUS, J. B. D. et al. Análise da incidência temporal, espacial e de tendência de fogo nos biomas e unidades de conservação do Brasil. **Ciência Florestal**, v. 30, n. 1, 2020. ISSN 1980-5098 0103-9954.

JIN, D.; BIAN, Z.-F. Structure, Function and Sustainability Assessment of Eco-economic System of Cultivated Land in Xuzhou. 2010. Disponível em: < https://en.cnki.com.cn/Article_en/CJFDTotal-ZTKX201002008.htm >.

KOPITTKE, P. M. et al. The role of soil in defining planetary boundaries and the safe operating space for humanity. **Environ Int**, v. 146, p. 106245, Jan 2021. ISSN 1873-6750 (Electronic) 0160-4120 (Linking). Disponível em: < <https://www.ncbi.nlm.nih.gov/pubmed/33161202> >.

LIMA, D. O. D.; CROUZEILLES, R.; VIEIRA, M. V. C. Integrating strict protection and sustainable use areas to preserve the Brazilian Pampa biome through conservation planning. **Land Use Policy**, v. 99, 2020.

LITRE, G. **Os Gaúchos e a Globalização: Vulnerabilidade e Adaptação da Pecuária Familiar no Pampa do Uruguai, Argentina e Brasil**. 2010. 474 Tese Centro de Desenvolvimento Sustentável, Universidade de Brasília, Brasília.

MA. **Ecosystems and Human Well-Being: Opportunities and Challenges for Business and Industry**. World Resources Institute. Washington, DC, p.32. 2005

MMA. Biomas Pampa. **Biomas**, 2020. Disponível em: < <https://www.mma.gov.br/biomas.html> >. Acesso em: 21/03.

MARTIN, J. F. et al. Emergy evaluation of the performance and sustainability of three agricultural systems with different scales and management. **Agriculture, Ecosystems & Environment**, v. 115, n. 1-4, p. 128-140, 2006. ISSN 01678809.

MAES, J. et al. **Mapping and Assessment of Ecosystems and their Services: Trends in ecosystems and ecosystem services in the European Union between 2000 and 2010**.

MAPBIOMAS. Projeto MapBiomass **Coleção V.4.1 da Série Anual de Mapas de Cobertura e Uso de Solo do Brasil**, 2020. Disponível em: < <https://mapbiomas.org> >. Acesso em: 02/06.

NIELSEN, S. et al. Thermodynamics in Ecology—An Introductory Review. **Entropy**, v. 22, n. 8, 2020. ISSN 1099-4300.

NABINGER, C. et al. Produção Animal com Base no Campo Nativo: Aplicação de Resultados de Pesquisa. In: PILLAR, V. D. P.; MÜLLER, S. C., et al (Ed.). **Campos Sulinos: Conservação e Uso Sustentável da Biodiversidade**. Brasília: Ministério do Meio Ambiente, 2009. cap. 13, p.175-198. ISBN 9788577381173.

ODUM, H. T. Self-Organization, Transformity, and Information. **Science**, v. 242, n. 4882, p. 1132-1139, 1988.

ODUM, H. T. **Environmental Accounting: EMERGY and Environmental Decision Making**. New York - NY. US: John Wiley & Sons, INC., 1996. 370 ISBN 0-471-11442-1.

ORTEGA, E.; ANAMI, M. H.; DINIZ, G. Certification of Food Products Using Emeryg Analysis. III International Workshop Advances in Energy Studies, 2002, Porto Venere - Italy. p.227-237.

ORTEGA, E.; BACIC, M. J. **Uso da Metodologia Emergética na Análise dos Sistemas de Produção e Consumo**. Campinas: 18 p. 2018.

OLIVEIRA, T. E. D. et al. Agricultural land use change in the Brazilian Pampa Biome: The reduction of natural grasslands. **Land Use Policy**, v. 63, p. 394-400, 2017. ISSN 02648377.

OVERBECK, G. E. et al. Os Campos Sulinos: Um Bioma Negligenciado. In: PILLAR, V. R. D. P.; MÜLLER, S. C., et al (Ed.). **Campos Sulinos: Conservação e Uso Sustentável da Biodiversidade**. Brasília: MMA, 2009. cap. 2, p.26-41.

PAIVA, E. M. C. D. Métodos de estimativa da produção de sedimentos em pequenas bacias hidrográficas. In: . Porto Alegre: ABRH, 2001. In: PAIVA, J. B. D. e PAIVA, E. M. C. D. (Ed.). **Hidrologia aplicada à gestão de pequenas bacias hidrográficas**. Porto Alegre: ABRH, 2001.

PALLARÉS, O. R.; BERETTA, E. J.; MARASCHIN, G. E. The South American Campos ecosystem. In: SUTTIE, J.; REYNOLDS, S. G., et al (Ed.). **Grasslands of the world**: FAO, 2005. cap. 5, p.171-219.

POWER, A. G. Ecosystem services and agriculture: tradeoffs and synergies. **Philos Trans R Soc Lond B Biol Sci**, v. 365, n. 1554, p. 2959-71, Sep 27 2010. ISSN 1471-2970 (Electronic) 0962-8436 (Linking). Disponível em: < <https://www.ncbi.nlm.nih.gov/pubmed/20713396> >.

Publications Office of the European Union. SUSTAINABILITY, I. F. E. A. Luxembourg: European Commission 2015.

PRETTY, J. Intensification for redesigned and sustainable agricultural systems. **Science**, v. 362, n. 6417, Nov 23 2018. ISSN 1095-9203 (Electronic) 0036-8075 (Linking). Disponível em: < <https://www.ncbi.nlm.nih.gov/pubmed/30467142> >.

REIS, J. C. D. et al. Integrated crop-livestock systems: A sustainable land-use alternative for food production in the Brazilian Cerrado and Amazon. **Journal of Cleaner Production**, v. 283, 2021. ISSN 09596526.

RÓTOLO, G. C. et al. Emery evaluation of grazing cattle in Argentina's Pampas. **Agriculture, Ecosystems & Environment**, v. 119, n. 3-4, p. 383-395, 2007. ISSN 01678809.

SANTOS, S. A. et al. An Emery-Based Approach to Assess and Value Ecosystem Services of Tropical Wetland Pastures in Brazil. **Open Journal of Ecology**, v. 10, n. 05, p. 303-319, 2020. ISSN 2162-1985.

SILVA, P. G. N. et al. Escarabeíneos (Coleoptera: Scarabaeidae: Scarabaeinae) de uma área de campo nativo no bioma Pampa, Rio Grande do Sul, Brasil. **Biota Neotropica**, v. 12, n. 3, p. 246-253, 2012. ISSN 1676-0611.

SQUIRE, G. R. et al. Degradation rate of soil function varies with trajectory of agricultural intensification. **Agriculture, Ecosystems & Environment**, v. 202, p. 160-167, 2015. ISSN 01678809.

SZYMCZAK, L. S. et al. System diversification and grazing management as resilience-enhancing agricultural practices: The case of crop-livestock integration. **Agricultural Systems**, v. 184, 2020. ISSN 0308521X.

TIAN, Y. et al. Systematically addressing the heterogeneity in the response of ecosystem services to agricultural modernization, industrialization and urbanization in the Qinghai-Tibetan Plateau from 2000 to 2018. **Journal of Cleaner Production**, v. 285, 2021. ISSN 09596526.

VALMORBIDA, I. et al. Population analysis of white grubs (Coleoptera: Melolonthidae) throughout the Brazilian Pampa biome. **Revista Brasileira de Entomologia**, v. 62, n. 4, p. 275-282, 2018. ISSN 00855626.

VASCONCELOS, K. et al. Livestock-derived greenhouse gas emissions in a diversified grazing system in the endangered Pampa biome, Southern Brazil. **Land Use Policy**, v. 75, p. 442-448, 2018. ISSN 02648377.

VIGNE, M. et al. Emery evaluation of contrasting dairy systems at multiple levels. **J Environ Manage**, v. 129, p. 44-53, Nov 15 2013. ISSN 1095-8630 (Electronic) 0301-4797 (Linking). Disponível em: < <https://www.ncbi.nlm.nih.gov/pubmed/23792889> >.

XIE, H. et al. Evaluating the sustainable intensification of cultivated land use based on emery analysis. **Technological Forecasting and Social Change**, v. 165, 2021. ISSN 00401625.

ZABALA, J. A.; MARTINEZ-PAZ, J. M.; ALCON, F. A comprehensive approach for agroecosystem services and disservices valuation. **Sci Total Environ**, v. 768, p. 144859, May 10 2021. ISSN 1879-1026 (Electronic) 0048-9697 (Linking). Disponível em: < <https://www.ncbi.nlm.nih.gov/pubmed/33450691> >.

ZAMAN, K. Sustainable Technologies in Agriculture Sector: Ensuring Green Food Production for Resource Conservation. In: (Ed.). **Encyclopedia of Renewable and Sustainable Materials**, 2020. p.550-559. ISBN 9780128131961.

ZHAO, Z. et al. Assessing the sustainability of grass-based livestock husbandry in Hulun Buir, China. **Physics and Chemistry of the Earth, Parts A/B/C**, v. 120, 2020. ISSN 14747065.

YAO, C. et al. Temporal and spatial change of cultivated land use intensity in China based on emergy theory. **Transactions of the Chinese Society of Agricultural Engineering**, v. 30, n. 8, p. 1-12, 2014.

WANG, Q. et al. Comprehensive evaluation and optimization of agricultural system: An emergy approach. **Ecological Indicators**, v. 107, 2019. ISSN 1470160X.

Apêndice 1. Estimativas das perdas de solo das amostras.

Conjunto	Tipo	Município	Elevação média	Fator C médio	Fator K médio	Fator R médio	Fator LS médio	Fator P utilizado	Perdas de solo (ton/ha)
1	Pecuária	Aceguá	168,29167	0,055229174	0,043600000	7.091,25000	0,482349169	0,2	1,647287
	Arroz	Aceguá	151,50000	0,202817127	0,095366701	7.073,00000	0,186180865	0,5	12,735327
2	Pecuária	Aceguá	166,83333	0,032695298	0,043600000	7.090,66667	0,492806728	0,2	0,996243
	Soja	Aceguá	173,95833	0,191063387	0,043600000	7.093,00000	0,618470837	0,8	29,235002
3	Pecuária	Aceguá	169,91667	0,050396609	0,043600000	7.082,00000	0,415723971	0,2	1,293835
	Soja	Aceguá	169,41667	0,196129847	0,043600000	7.083,66667	0,524917759	0,5	15,898259
4	Pecuária	Alegrete	169,87500	0,030367486	0,019549999	8.889,66667	0,791130377	0,2	0,835063
	Soja	Alegrete	161,82609	0,022441358	0,019549999	8.889,66667	0,833769242	0,5	1,625913
5	Pecuária	Alegrete	106,54545	0,014660000	0,019549999	8.913,00000	0,670956375	0,2	0,342791
	Soja	Alegrete	108,32000	0,083099763	0,019549999	8.916,33333	1,751135955	0,5	12,683020
6	Pecuária	Alegrete	121,13636	0,01466	0,029999999	8.872,66667	0,232664632	0,2	0,181581
	Arroz	Alegrete	117,72000	0,163617435	0,029999999	8.867,25000	0,313413037	0,8	10,913067
7	Pecuária	Jari	418,90909	0,114121251	0,038500000	8.789,33333	0,864166569	0,2	6,674376
	Soja	Jari	379,36360	0,197810124	0,042029999	8.799,66667	0,612910562	0,5	22,420290
8	Pecuária	Stº Ant. das Missões	73,00000	0,023537649	0,031166649	9.701,00000	0,209642529	0,2	0,298386
	Arroz	Stº Ant. das Missões	72,66667	0,255882114	0,029999999	9.660,00000	0,176037886	0,8	10,443220

Fonte: Autores

Apêndice 02. Pontos de referência das amostras (unidades de manejo)

Conjuntos de Unidades Produtivas P	Sistemas P			Conjuntos de Unidades Produtivas S & A	Sistemas S & A		
	Pontos Referência	Área (ha)			Pontos Referência	Área (ha)	
1 - Pecuária em pastagens naturais	31°38'48.62"	54°9'33.30"	208,0	1 - Arroz irrigado & Pecuária	31°37'35.93"	54°11'15.48"	107,0
2 - Pecuária em pastagens naturais	31°39'31.47"	54°9'59.24"	98,7	2 - Soja & Pecuária	31°39'47.27"	54°9'31.71"	77,3
3 - Pecuária em pastagens naturais	31°39'43.42"	54°11'1.13"	92,6	3 - Soja & Pecuária	31°39'54.11"	54°10'36.20"	192,0
4 - Pecuária em pastagens naturais	29°46'30.42"	55°22'14.42"	209,0	4 - Soja & Pecuária	29°46'55.45"	55°22'2.10"	203,0
5 - Pecuária em pastagens naturais	29°44'45.65"	55°23'8.68"	102,0	5 - Soja & Pecuária	29°44'34.94"	55°23'47.95"	96,1
6 - Pecuária em pastagens naturais	29°54'20.41"	56°1'37.20"	105,0	6 - Arroz irrigado & Pecuária	29°54'6.93"	56°1'46.03"	25,0
7 - Pecuária em pastagens naturais	29°21'57.99"	54°19'5.27"	35,0	7 - Soja & Pecuária	29°21'48.18"	54°18'59.67"	91,0
8 - Pecuária em pastagens naturais	28°29'22.07"	55°33'19.37"	54,0	8 - Arroz irrigado & Pecuária	28°28'51.87"	55°33'41.85"	170,0

Fonte: Autores

CAPÍTULO 6 - CONSIDERAÇÕES FINAIS

6.1 CONCLUSÕES E CONTRIBUIÇÕES

A pesquisa, evidenciou algumas das características das mudanças no uso da terra da região estudada e quantificou diferenças no uso de recursos, possibilitando uma avaliação biofísica de sustentabilidade entre atividades de uso da terra no Bioma Pampa. As culturas de soja e arroz demonstraram crescimento na área de cultivo e a bovinocultura de corte desenvolvida em pastagens naturais sofreu redução de área de vegetação natural para a atividade ao longo do período examinado. Aumentos nos rendimentos das três atividades foram detectados ao longo do período. A bovinocultura de corte da região sofreu perdas de área e crescimento nos rendimentos, apesar de apresentar taxas decrescentes nos rendimentos. As evidências apontam para um movimento de integração da pecuária de corte desenvolvida em vegetação natural do Pampa, com a agricultura, transformando sistemas que eram exclusivamente de pecuária, em sistemas mistos de produção.

A ênfase na sustentabilidade voltada para o uso de recursos utilizados na agricultura e na pecuária, mostrou que os sistemas produtivos podem ser comparados neste sentido. A bioeconomia oferece abordagens que evidenciam elementos da natureza que são essenciais à produção e que normalmente não são contabilizados. Não são contabilizados como recursos escassos em seu valor energéticos e também na economia. Níveis de uso e de resultados de energia de recursos podem ser utilizados para examinar sistemas de produção de alimentos e uso da terra. A sustentabilidade da pecuária de corte apontada pela metodologia emergética em seus principais índices, foi superior quando comparada as atividades de agricultura integrada com pastagens cultivadas de inverno no bioma Pampa. Contudo, se considerarmos a quantidade de energia de produto, relacionada a quantidade de recursos utilizados para produzir, teremos nos sistemas com agricultura e pastagens cultivadas, menores relações entre cada unidade de recurso, por unidade de produto resultante. Desse modo, a quantidade de unidades de energia utilizada, para se obter uma unidade de produto, foi menor nos sistemas integrados, comparando-os a pecuária tradicional desenvolvida na região.

Os achados da pesquisa colocam em discussão o grau de insustentabilidade com relação a otimização de recursos dentro do Bioma Pampa. Inserir o tema dos recursos e dos seus rendimentos sobre a discussão da transformação de áreas

naturais do Pampa e seus impactos ecossistêmicos, podem trazer novas questões a respeito das escolhas que a sociedade deve tomar com relação ao balanço entre a necessidade de preservação de ambientes naturais e os crescentes requerimentos da população do planeta e das populações locais com emprego e renda oriundos do agronegócio.

Demonstrou-se no texto que houve elevação histórica de rendimentos nas atividades de uso da terra no Bioma Pampa, tendo como fator impulsionador do processo, a introdução da agricultura associada a pecuária de corte. Quando analisadas as fronteiras biofísicas dos sistemas integrados na região, estes sistemas apresentam maior eficiência no uso de recursos para cada unidade de produto final resultante na avaliação de eficiência energética, em comparação aos sistemas tradicionais de pecuária de corte em pastagens naturais. Contudo, os índices emergéticos demonstram que a pecuária de corte em pastagens naturais se mostra mais sustentável.

Crescimento nas demandas alimentares mundiais devem, não somente elevar a necessidade de maiores rendimentos das culturas, como somar-se a abertura de novas áreas de cultivo pelo planeta. Sendo inevitável a necessidade de crescimento produtivo pelos dois caminhos descritos, o Brasil e os seus biomas tornam-se candidatos a suprir parte dessas novas demandas. A responsabilidade sobre a sustentabilidade na agricultura, recai sobre os agricultores, sobre a sociedade local e a sociedade como um todo, independente de onde seja executada a operação produtiva, esses agentes teriam que lidar com o problema da conservação dos seus recursos e do uso racional no caminho da sustentabilidade. De qualquer forma vivemos no mesmo planeta e teremos que utilizar da melhor forma os recursos existentes e é no sentido da aplicação da eficiência no uso de recursos que se firmam as principais contribuições deste texto.

Ao inserirmos a eficiência no uso de recursos dentro das discussões inerentes a sustentabilidade na agricultura, estaremos concorrendo para avançar nos três pilares fundamentais da sustentabilidade, o pilar social, econômico e ambiental.

Aplicando menores quantidades de recursos por unidade de produto, os lucros tendem a aumentar e devem gerar maiores dividendos locais, servindo como pilar econômico de sustentação a longo prazo para produção de alimentos.

Uma produção de alimentos voltada para o uso eficiente de recursos tende a manter maior grau de integridade dos outros serviços ecossistêmicos oferecidos,

como a filtragem da água, recomposição de mananciais, manutenção da biodiversidade local, interferindo positivamente na sustentabilidade da agricultura e por consequência no bem-estar social. A agricultura mais eficiente em uso de recursos, pode fortalecer as cadeias produtivas e a capacidade de manter postos de trabalho através de operações mais econômicas e mais sustentáveis

E por fim, o pilar ambiental seria fortalecido pelo uso racional e mais eficiente de recursos escassos. Menores perdas de recursos não renováveis e menores volumes de pesticidas aplicados, favorecem o meio ambiente assim como tecnologias de manejo integrado com defensivos biológicos mais baratos.

Mesmo sistemas integrados considerados como menos sustentáveis do ponto de vista da metodologia aplicada e sem considerar a energia de produtos, apresentam variações consideráveis como pode ser observado na figura 15 deste documento, apontando para sistemas integrados mais eficientes quando comparados entre si e que podem ser evidenciados como mais sustentáveis entre os sistemas integrados.

Considerando o que demonstramos ao longo do texto, pode se concluir que práticas geradoras de maior eficiência no uso de recursos agrícolas como o planejamento no uso da terra por aptidão e a busca por sistemas produtivos com maior eficiência biofísica são temas que podem ser integrados ao caminho da sustentabilidade na agricultura.

6.2 LIMITAÇÕES DA PESQUISA

Os dados do capítulo 5 são referentes a um ano, em número baixo de amostras para representar uma região. Pesquisas posteriores de coletas sistemáticas de dados ao longo de períodos maiores de tempo, podem representar uma nova aproximação na busca pela representação real do uso de recursos da natureza e da economia na agropecuária da região. O crescimento histórico dos rendimentos das três culturas, indicam que a eficiência no uso de recursos pode mudar ao longo do tempo e um monitoramento a longo prazo pode dar maior fundamentação a concepção de sustentabilidade com relação a eficiência do uso de recursos com base na energia.

E por fim, a sustentabilidade analisada na pesquisa, não considera outros pilares fundamentais do conceito, como social e econômico, dentro dos sistemas produtivos estudados.

REFERÊNCIAS

- ADHIKARI, K.; HARTEMINK, A. E. Linking soils to ecosystem services — A global review. **Geoderma**, Amsterdam, v. 262, p. 101-111, 2016.
- ALFARO-ARGUELLO, R. *et al.* Steps toward sustainable ranching: an emergy evaluation of conventional and holistic management in Chiapas, Mexico. **Agricultural Systems**, Barking, v. 103, n. 9, p. 639-646, 2010.
- ALTMANN, A.; BERGER FILHO, A. G. Certification and labeling for conservation of ecosystem services in the Pampa Biome: case study of the Aliança do Pastizal scheme. **Ecosystem Services**, Amsterdam, v. 46, n. 3, [art.] 101209, 2020.
- AMIRI, Z. *et al.* Conservation agriculture, a selective model based on emergy analysis for sustainable production of shallot as a medicinal-industrial plant. **Journal of Cleaner Production**, Amsterdam, v. 292, [art.] 126000, 2021.
- ARTUZO, F. D. *et al.* Emergy unsustainability index for agricultural systems assessment: a proposal based on the laws of thermodynamics. **Science of the Total Environment**, Amsterdam, v. 759, [art.] 143524, [p. 1-13], 2020. Disponível em: <https://www.ncbi.nlm.nih.gov/pubmed/33248781>. Acesso em: 19 jul. 2021.
- BARROS, G. S. A. C. **Economia da comercialização agrícola**. Piracicaba: USP/ESALQ/LES/CEPEA, 2007. 221 p.
- BERTALANFFY, L. V. **Teoria geral dos sistemas: fundamentos desenvolvimento e aplicações**. 7. ed. Petrópolis: Vozes, 2013. 360 p.
- BERTONI, J.; LOMBARDI-NETO, F. **Conservação de solo**. 4. ed. São Paulo: Icone, 1999.
- BOSERUP, E. **The condidtions of agricultural growth: the economics of agrarian change under population pressure**. London: George Allen & Unwin Ltd Ruskin, 1965. 108 p.
- BRADSHAW, C. J.; BROOK, B. W. Human population reduction is not a quick fix for environmental problems. **Proceedings of the National Academy of Sciences of the United States of America**, Washington, DC, v. 111, n. 46, p. 16610-16615, 2014. Disponível em: <https://www.ncbi.nlm.nih.gov/pubmed/25349398>. Acesso em: 25 jun. 2021.
- BROWN, M. T.; ULGIATI, S. Emergy analysis and environmental accounting. *In*: CLEVELAND, C. J. (ed.). **Encyclopedia of energy**. Amsterdam: Elsevier, 2004. v. 2, p. 329-354.
- BROWN, M. T.; ULGIATI, S. Emergy-based indices and ratios to evaluate sustainability: monitoring economies and technology toward environmentally sound innovation. **Ecological Engineering**, Amsterdam, v. 9, p. 51-69, 1997.
- BROWN, J. H. *et al.* Macroecology meets macroeconomics: resource scarcity and global sustainability. **Ecological Engineering**, Amsterdam, v. 65, p. 24-32, 2014.

BURNEY, J. A.; DAVIS, S. J.; LOBELL, D. B. Greenhouse gas mitigation by agricultural intensification. **Proceedings of the National Academy of Sciences of the United States of America**, Washington, DC, v. 107, n. 26, p. 12052-12057, 2010.

CABRAL, B. P.; SOUSA, F. L.; CANÊDO-PINHEIRO, M. Assessing the impacts of innovation barriers: a qualitative analysis of Brazil's natural resources industry. **Resources Policy**, Amsterdam, v. 68, [art.] 101736, 2020.

CAUMO, M. *et al.* Grassland community structure in permanent preservation areas associated with forestry and livestock in the Pampa Biome, southern Brazil. **South African Journal of Botany**, Pretoria, v. 139, p. 442-448, 2021.

CAVALETT, O.; ORTEGA, E. Emergy, nutrients balance, and economic assessment of soybean production and industrialization in Brazil. **Journal of Cleaner Production**, Amsterdam, v. 17, n. 8, p. 762-771, 2009.

CEZIMBRA, I. M. *et al.* Potential of grazing management to improve beef cattle production and mitigate methane emissions in native grasslands of the Pampa Biome. **Science of the Total Environment**, Amsterdam, v. 780, [art.] 146582, 2021.

CHANG, T. *et al.* Evaluation of oasis sustainability based on emergy and decomposition analysis. **Sustainability**, Basel, v. 10, n. 6, [art.] 1856, 2018.

COSTANZA, R.; DALY, H. E. Natural capital and sustainable development. **Conservation Biology**, Boston, v. 6, n. 1, p. 37-46, 1992.

COSTANZA, R. *et al.* **An introduction to ecological economics**. 2nd ed. Boca Raton: CRC, 2015.

COUTINHO, L. M. O conceito de bioma. **Acta Botânica Brasilica**, São Paulo, v. 20, n. 1, p. 1-11, 2006.

COUTO, L. C. *et al.* Water, waste, energy and food nexus in Brazil: identifying a resource interlinkage research agenda through a systematic review. **Renewable and Sustainable Energy Reviews**, Oxford, v. 138, [art.] 110554, 2021.

CROSSMAN, N. D. *et al.* Land science contributions to ecosystem services. **Current Opinion in Environmental Sustainability**, Amsterdam, v. 5, n. 5, p. 509-514, 2013.

CUNHA, G. R. D. *et al.* Intensificação versus extensificação da agricultura. **Revista Plantio Direto**, Passo Fundo, ano 20, n. 119, p. 22-27, set./out. 2010.

DAILY, G. C. Nature's services: **societal dependence on natural ecosystems**. Washington, DC: Island Press, 1997.

DALY, H. E. **Beyond growth: the economics of sustainable development**. Boston: Beacon Press, 1996.

DEFRIES, R. S.; FOLEY, J. A.; ASNER, G. P. Land-use choices: balancing human needs and ecosystem function. **Frontiers in Ecology and the Environment**, Washington, DC, v. 2, n. 5, p. 249-257, 2004.

DUBEY, P. K. *et al.* Steering the restoration of degraded agroecosystems during the United Nations Decade on Ecosystem Restoration. **Journal of Environmental Management**, London, v. 280, [art.] 111798, [p. 1-5], 2021. Disponível em: <https://www.ncbi.nlm.nih.gov/pubmed/33309393>. Acesso em: 30 jun. 2021.

EBLING, É. D. *et al.* Event-based hydrology and sedimentation in paired watersheds under commercial eucalyptus and grasslands in the Brazilian Pampa biome. **International Soil and Water Conservation Research**, Beijing, v. 9, n. 2, p. 180-194, 2021.

EMBRAPA - EMPRESA BRASILEIRA DE PESQUISA AGROPECUÁRIA. **NASA confirms embrapa's data on planted area in Brazil**. Brasília-DF: MAPA, 2017. 2 p. Disponível em: <https://www.embrapa.br/en/busca-de-noticias/-/noticia/30972114/nasa-confirma-dados-da-embrapa-sobre-area-plantada-no-brasil>. Acesso em: 6 jun. 2021.

ERB, K.-H. *et al.* Exploring the biophysical option space for feeding the world without deforestation. **Nature Communications**, London, v. 7, [art.] 11382, 2016. Disponível em: <https://www.nature.com/articles/ncomms11382>. Acesso em: 18 jul 2021.

FAO - FOOD AND AGRICULTURE ORGANIZATION OF THE UNITED NATIONS. **The future of food and agriculture: alternative pathways to 2050: supplementary material**. Rome: FAO, 2018. 64 p.

FOLEY, J. A. *et al.* Solutions for a cultivated planet. **Nature**, London, v. 478, n. 7369, p. 337-342, 2011. Disponível em: <https://www.ncbi.nlm.nih.gov/pubmed/21993620>. Acesso em: 5 jul. 2021.

FOLEY, J. A. *et al.* Global consequences of land use. **Science**, Washington, DC, v. 309, n. 5734, p. 570-4, 2005.

FREITAS, D. S. D.; OLIVEIRA, T. E. D.; OLIVEIRA, J. M. D. Sustainability in the Brazilian pampa biome: a composite index to integrate beef production, social equity, and ecosystem conservation. **Ecological Indicators**, New York, v. 98, p. 317-326, 2019.

GEORGESCU-ROEGEN, N. Inequality, limits and growth from a bioeconomic viewpoint. **Review of Social Economy**, Abingdon, v. 35, n. 3, p. 361-375, 1977.

GEORGESCU-ROEGEN, N. Energy analysis and economic valuation. **Southern Economic Journal**, Chapel Hill, v. 45, n. 4, p. 1023-1058, 1979.

GOLUB, A. *et al.* A real options framework for reducing emissions from deforestation: Reconciling short-term incentives with long-term benefits from conservation and agricultural intensification. **Ecosystem Services**, Amsterdam, v. 49, [art.] 101275, 2021.

IBGE - INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA. **Vocabulário básico de recursos naturais e meio ambiente**. 2. ed. Rio de Janeiro: IBGE, 2004.

JAT, M. L. *et al.* Conservation agriculture for sustainable intensification in South Asia. **Nature Sustainability**, London, v. 3, n. 4, p. 336-343, 2020.

JAFARI, M. *et al.* Sustainability assessment of date and pistachio agricultural systems using energy, emergy and economic approaches. **Journal of Cleaner Production**, Amsterdam, v. 193, p. 642-651, 2018.

JESUS, J. B. D. *et al.* Análise da incidência temporal, espacial e de tendência de fogo nos biomas e unidades de conservação do Brasil. **Ciência Florestal**, Santa Maria, v. 30, n. 1, p. 176-191, 2020.

JIN, D.; BIAN, Z. F. Structure, function and sustainability assessment of eco-economic system of cultivated land in Xuzhou. **China Land Science**, [Beijing], v. 24, n. 2, p. 38-44, 2010. Disponível em: https://en.cnki.com.cn/Article_en/CJFDTOTAL-ZTKX201002008.htm. Acesso em: 15 jul. 2021.

KALLIS, G.; KERSCHNER, C.; MARTINEZ-ALIER, J. The economics of degrowth. **Ecological Economics**, Amsterdam, v. 84, p. 172-180, 2012.

KOPITTKE, P. M. *et al.* The role of soil in defining planetary boundaries and the safe operating space for humanity. **Environment International**, Amsterdam, v. 146, [art.] 106245, [p. 1-8], Jan. 2021. Disponível em: <https://www.ncbi.nlm.nih.gov/pubmed/33161202>. Acesso em: 17 jul. 2021.

KRAUSMANN, F. *et al.* Growth in global material use, GDP and population during the 20th century. **Ecological Economics**, Amsterdam, v. 68, p. 2696-2705, 2009.

LEVY, M. A.; LUBELL, M. N.; MCROBERTS, N. The structure of mental models of sustainable agriculture. **Nature Sustainability**, London, v. 1, p. 413-420, 2018.

LIMA, D. O. D.; CROUZEILLES, R.; VIEIRA, M. V. C. Integrating strict protection and sustainable use areas to preserve the Brazilian Pampa biome through conservation planning. **Land Use Policy**, Guildford, v. 9, [art.] 104836, 2020.

LITRE, G. **Os Gaúchos e a globalização: vulnerabilidade e adaptação da pecuária familiar no pampa do Uruguai, Argentina e Brasil**. 2010. 474 f. Tese (Doutorado) - Centro de Desenvolvimento Sustentável, Universidade de Brasília, Brasília, 2010.

MAES, J. *et al.* Mapping ecosystem services for policy support and decision making in the European Union. **Ecosystem Services**, Amsterdam, v. 1, n. 1, p. 31-39, 2012.

MALTHUS, T. R. **An essay on the principle population**. New York: Dover Publications, 1798.

MAPBIOMAS. Projeto MapBiomas. **Coleção v.4.1 da série anual de mapas de cobertura e uso de solo do Brasil**. [S. l.], 2020. Disponível em:

<https://mapbiomas.org>. Acesso em: 2 jun. 2021.

MARTIN, J. F. *et al.* Emergy evaluation of the performance and sustainability of three agricultural systems with different scales and management. **Agriculture, Ecosystems & Environment**, Amsterdam, v. 115, n. 1/4, p. 128-140, 2006.

MAZOYER, M.; ROUDART, L. **História das agriculturas no mundo: do neolítico à crise contemporânea**. São Paulo: UNESP, 2010. 568 p.

MERLIN, G.; BOILEAU, H. Eco-efficiency and entropy generation evaluation based on emergy analysis: application to two small biogas plants. **Journal of Cleaner Production**, Amsterdam, v. 143, p. 257-268, 2017.

MINISTÉRIO DO MEIO AMBIENTE (MMA). **Biomass**. Brasília, DF: MMA, 2018. Disponível em: <http://www.mma.gov.br/biomass.html>. Acesso em: 4 abr. 2018.

MONCRIEFF, G. R.; BOND, W. J.; HIGGINS, S. I. Revising the biome concept for understanding and predicting global change impacts. **Journal of Biogeography**, Oxford, v. 43, n. 5, p. 863-873, 2016.

NABINGER, C. *et al.* Produção animal com base no campo nativo: aplicação de resultados de pesquisa. *In*: PILLAR, V. D. P. *et al.* (ed.). **Campos sulinos: conservação e uso sustentável da biodiversidade**. Brasília, DF: Ministério do Meio Ambiente, 2009. cap. 13, p.175-198.

ODUM, E. P. **Fundamentos de ecologia**. 6. ed. São Paulo: Fundação Calouste Gulbenkian, 2001.

ODUM, H. T. Self-organization, transformity, and information. **Science**, Washington, DC, v. 242, n. 4882, p. 1132-1139, 1988.

ODUM, H. T. **Environmental accounting: emergy and environmental decision making**. New York: John Wiley, 1996. 370 p.

ODUM, H. T. **Handbook of emergy evaluation**. Gainesville: Center for Environmental Policy Environmental Engineering Sciences University of Florida, 2000.

OFSTEHAGE, A.; NEHRING, R. No-till agriculture and the deception of sustainability in Brazil. **International Journal of Agricultural Sustainability**, Clevedon, v. 19, n. 3/4, p. 335-348, 2021.

OLIVEIRA, T. E. D. *et al.* Agricultural land use change in the Brazilian Pampa Biome: the reduction of natural grasslands. **Land Use Policy**, Guildford, v. 63, p. 394-400, 2017.

ORTEGA, E.; ANAMI, M. H.; DINIZ, G. Certification of food products using emergy analysis. *In*: INTERNATIONAL WORKSHOP ADVANCES IN ENERGY STUDIES, 3., 2002, Porto Venere - Italy. **Proceedings of the [...]**. [Padova: SGEEditoriali], 2002. p. 227-237.

ORTEGA, E.; BACIC, M. J. **Uso da metodologia emergética na análise dos sistemas de produção e consumo**. Campinas: Unicamp, 2018. 18 p. Disponível em: <http://www.unicamp.br/fea/ortega/extensao/modulo5.pdf>. Acesso em: 21 jul. 2021.

OVERBECK, G. E. *et al.* Os campos sulinos: um bioma negligenciado. *In*: PILLAR, V. R. D. P. *et al.* (ed.). **Campos sulinos: conservação e uso sustentável d. a biodiversidade**. Brasília, DF: MMA, 2009. cap. 2, p. 26-41.

POWER, A. G. Ecosystem services and agriculture: tradeoffs and synergies. **Philosophical Transactions of the Royal Society. B, Biological Sciences**, London, v. 365, n. 1554, p. 2959-2971, 2010. Disponível em: <https://www.ncbi.nlm.nih.gov/pubmed/20713396>. Acesso em: 23 jul. 2021.

PRETTY, J. Intensification for redesigned and sustainable agricultural systems. **Science**, Washington, DC, v. 362, n. 6417, [art.] eaav0294, 2018. Disponível em: <https://www.ncbi.nlm.nih.gov/pubmed/30467142>. Acesso em: 26 ago. 2021.

PRETTY, J. Agricultural sustainability: concepts, principles and evidence. **Philosophical Transactions of the Royal Society. B, Biological Sciences**, London, v. 363, n. 1491, p. 447-465, 2008.

PROOPS, J. L. R. Ecological economics: rationale and problem areas. **Ecological Economics**, Amsterdam, v. 1, n. 1, p. 59-76, 1989.

RAMANKUTTY, N.; FOLEY, J. A. Estimating historical changes in global land cover: croplands from 1700 to 1992. **Global Biogeochemical Cycles**, Washington, DC, v. 13, n. 4, p. 997-1027, 1999.

REIS, J. C. D. *et al.* Integrated crop-livestock systems: a sustainable land-use alternative for food production in the Brazilian Cerrado and Amazon. **Journal of Cleaner Production**, Amsterdam, v. 283, [art.] 124580, 2021.

RENARD, D.; TILMAN, D. National food production stabilized by crop diversity. **Nature**, London, v. 571, n. 7764, p. 257-260, July 2019. Disponível em: <https://www.ncbi.nlm.nih.gov/pubmed/31217589>. Acesso em: 28 jul. 2021.

RITCHIE, H.; ROSER, M. **Crop yields**. [Oxford]: Our World Data, 25 Sept. 2018. Disponível em: <https://ourworldindata.org/yields-and-land-use-in-agriculture>. Acesso em: 29 jul.2021.

RÓTOLO, G. C. *et al.* Emery evaluation of grazing cattle in Argentina's Pampas. **Agriculture, Ecosystems & Environment**, Amsterdam, v. 119, n. 3/4, p. 383-395, 2007.

SACHS, J. *et al.* Monitoring the world's agriculture. **Nature**, London, v. 466, n. 7306, p. 558-60, July 2010.

SANTOS, S. A. *et al.* An emeryy-based approach to assess and valuate ecosystem

services of tropical wetland pastures in Brazil. **Open Journal of Ecology**, Irvine, v. 10, n. 5, p. 303-319, 2020.

SCHIMPER, A. F. W. **Plant-geography upon a physiological basis**. Oxford: Clarendon, 1903.

SHARMA, R.; T, A.; SHARMA, R. Sustainable agriculture: trends and opportunities for 21st century. *Journal of Applied and Natural Science*, Haridwar, v. 11, n. 3, p. 666-672, 2019.

SILVA, P. G. N. *et al.* Escarabeíneos (Coleoptera: Scarabaeidae: Scarabaeinae) de uma área de campo nativo no bioma Pampa, Rio Grande do Sul, Brasil. **Biota Neotropica**, São Paulo, v. 12, n. 3, p. 246-253, 2012.

SODDY, F. **Cartesian economics: the bearing of physical science Upon State Stewardship**. London: Columbia University, 1922.

SQUIRE, G. R. *et al.* Degradation rate of soil function varies with trajectory of agricultural intensification. **Agriculture, Ecosystems & Environment**, Amsterdam, v. 202, p. 160-167, 2015.

STEFFEN, W. *et al.* Sustainability. Planetary boundaries: guiding human development on a changing planet. **Science**, Washington, DC, v. 347, n. 6223, [art.] 1259855, p. 736-746, Feb. 2015. Disponível em: <https://www.ncbi.nlm.nih.gov/pubmed/25592418>. Acesso em: 1º ago. 2021.

SZYMCZAK, L. S. *et al.* System diversification and grazing management as resilience-enhancing agricultural practices: the case of crop-livestock integration. **Agricultural Systems**, Barking, v. 184, [art.] 102904, 2020.

TIAN, Y. *et al.* Systematically addressing the heterogeneity in the response of ecosystem services to agricultural modernization, industrialization and urbanization in the Qinghai-Tibetan Plateau from 2000 to 2018. **Journal of Cleaner Production**, Amsterdam, v. 285, [art.] 125323, 2021.

VALMORBIDA, I. *et al.* Population analysis of white grubs (Coleoptera: Melolonthidae) throughout the Brazilian Pampa biome. **Revista Brasileira de Entomologia**, Curitiba, v. 62, n. 4, p. 275-282, 2018.

VASCONCELOS, K. *et al.* Livestock-derived greenhouse gas emissions in a diversified grazing system in the endangered Pampa biome, Southern Brazil. **Land Use Policy**, Guildford, v. 75, p. 442-448, 2018.

VIANA, J. G. A. *et al.* Sustainability of livestock systems in the Pampa Biome of Brazil: an analysis highlighting the rangeland dilemma. **Sustainability**, Basel, v. 13, n. 24, [art.] 13781, 2021.

VIGNE, M. *et al.* Emery evaluation of contrasting dairy systems at multiple levels. **Journal of Environmental Management**, London, v. 129, p. 44-53, 2013. Disponível em: <https://www.ncbi.nlm.nih.gov/pubmed/23792889>. Acesso em: 3 ago.

2021.

WANG, Q. *et al.* Comprehensive evaluation and optimization of agricultural system: an emergy approach. **Ecological Indicators**, New York, v. 107, [art.] 105650, 2019.

XIE, H. *et al.* Evaluating the sustainable intensification of cultivated land use based on emergy analysis. **Technological Forecasting and Social Change**, New York, v. 165, [art.] 120449, 2021.

YAO, C. *et al.* Temporal and spatial change of cultivated land use intensity in China based on emergy theory. **Transactions of the Chinese Society of Agricultural Engineering**, Beijing, v. 30, n. 8, p. 1-12, 2014.

ZABALA, J. A.; MARTINEZ-PAZ, J. M.; ALCON, F. A comprehensive approach for agroecosystem services and disservices valuation. **Science of the Total Environment**, Amsterdam, v. 768, [art.] 144859, [p. 1-14], 2021. Disponível em: <https://www.ncbi.nlm.nih.gov/pubmed/33450691>. Acesso em: 4 ago. 2021.

ZAMAN, K. Sustainable technologies in agriculture sector: ensuring green food production for resource conservation. *In*: HASHMI, S.; CHOUDHURY, I. A. (ed.). **Encyclopedia of renewable and sustainable materials**. Amsterdam: Elsevier, 2020. v. 5, p. 550-559.

ZHAO, Z. *et al.* Assessing the sustainability of grass-based livestock husbandry in Hulun Buir, China. **Physics and Chemistry of the Earth, Parts A/B/C**, Oxford, v. 120, [art.] 102907, 2020.

APÊNDICE A – QUADRO COM VARIÁVEIS E VALORES

	V1	V2	V3	V4	V5	V6	V7	V8	V9	V10	V11	V12	V13	V14	V15	V16	V17	
Nº	Ano	Quantidade colhida Cultura Soja no Bioma Pampa (Ton)	Área colhida Cultura Soja no Bioma Pampa (Ha)	Rendimento da cultura de soja no Pampa (ton/ha)	Quant.colhida Cultura de soja no Bioma Pampa (Toneladas)	Área Colhida na Cultura de Arroz no Bioma Pampa (Toneladas)	Rendimento da cultura de Arroz no Pampa (ton/ha)	Efetivo Bovinos no Bioma Pampa (cabeças)	Efetivo Bovinos no estado do Rio Grande do Sul (cabeças)	Rebanho do Bioma em Relação ao Estado (%). (V7/V8) x 100	Abates de bovinos no Estado no Rio Grande do Sul (cabeças)	Abates de fêmeas bovinas no Estado no Rio Grande do Sul (cabeças)	Total Abate no RS/Ano (Ton de carcaças)	Abate Fêmeas no RS/Ano (Ton de carcaças)	Estimativa de Abate no Pampa/base no percentual do rebanho (Ton de carcaças). (V12 x V9)	Estimativa de Abate de fêmeas no Pampa/base no percentual do rebanho (Ton de carcaças). (V13 x V9)	Formação Natural não Florestal (ha)	Estimativa Produção carne no Bioma no RS (Ton. Carcaça/ha) (V14/V16)
1	1985	1.654.373	1.179.815	1,40	3.145.555	688.439	4,57	10.545.630	13.563.090	77,75%	-	-	-	-	-	-	8.398.295,2	-
2	1986	725.974	874.734	0,83	2.941.548	696.504	4,22	10.500.631	13.728.072	76,49%	-	-	-	-	-	-	8.397.465,7	-
3	1987	1.363.225	871.476	1,56	3.499.367	771.260	4,54	10.506.649	13.729.256	76,53%	-	-	-	-	-	-	8.230.823,0	-
4	1988	910.230	997.089	0,91	3.828.020	780.476	4,90	10.607.819	13.829.640	76,70%	-	-	-	-	-	-	8.227.341,5	-
5	1989	1.595.832	1.221.268	1,31	3.888.265	773.047	5,03	10.648.004	13.832.766	76,98%	-	-	-	-	-	-	8.061.404,0	-
6	1990	1.933.472	1.132.700	1,71	3.117.892	667.474	4,67	10.530.123	13.715.085	76,78%	-	-	-	-	-	-	8.107.689,9	-
7	1991	702.875	932.074	0,75	3.766.646	785.214	4,80	10.450.454	13.672.801	76,43%	-	-	-	-	-	-	8.156.264,3	-
8	1992	1.486.660	823.569	1,81	4.483.296	868.427	5,16	10.645.574	13.905.291	76,56%	-	-	-	-	-	-	8.132.801,8	-
9	1993	1.715.753	918.389	1,87	4.867.525	951.002	5,12	10.723.186	14.103.022	76,03%	-	-	-	-	-	-	8.266.231,3	-
10	1994	1.519.491	976.254	1,56	4.138.290	947.261	4,37	11.191.589	14.556.224	76,89%	-	-	-	-	-	-	8.291.626,4	-
11	1995	1.664.778	922.944	1,80	4.941.275	960.175	5,15	10.971.837	14.259.226	76,95%	-	-	-	-	-	-	8.230.783,0	-
12	1996	1.103.545	732.559	1,51	4.281.563	840.176	5,10	9.935.418	13.443.106	73,91%	-	-	-	-	-	-	8.018.329,1	-
13	1997	1.309.471	879.351	1,49	3.986.426	773.972	5,15	10.108.788	13.699.814	73,79%	1.487.214	583.643	639.680	116.389	472.005	85.881	7.928.093,8	0,060
14	1998	1.925.783	996.278	1,93	3.505.869	807.436	4,34	10.205.049	13.743.130	74,26%	1.301.599	521.605	551.677	103.335	409.651	76.732	7.978.933,7	0,051
15	1999	1.271.348	945.084	1,35	5.525.883	964.804	5,73	10.119.242	13.663.893	74,06%	1.433.271	579.592	620.886	116.716	459.817	86.437	7.997.542,6	0,057
16	2000	1.174.305	938.201	1,25	4.876.967	920.235	5,30	10.112.991	13.601.000	74,35%	1.313.805	407.959	560.713	82.646	416.917	61.451	8.039.017,1	0,052
17	2001	2.217.512	987.892	2,24	5.157.015	926.513	5,57	10.532.879	13.871.613	75,93%	1.093.548	296.194	474.911	60.636	360.605	46.042	8.063.786,2	0,045
18	2002	1.781.136	1.133.664	1,57	5.384.653	958.818	5,62	10.988.111	14.371.138	76,46%	1.026.631	359.780	455.106	72.755	347.972	55.628	7.953.557,8	0,044
19	2003	3.451.723	1.350.624	2,56	4.594.863	939.612	4,89	11.178.620	14.581.757	76,66%	1.254.240	506.401	546.105	101.649	418.653	77.926	7.735.198,4	0,054
20	2004	1.966.242	1.605.330	1,22	6.230.465	1.022.885	6,09	11.297.363	14.669.713	77,01%	1.702.014	822.842	742.596	168.239	571.884	129.563	7.602.465,2	0,075
21	2005	1.131.838	1.596.319	0,71	5.999.078	987.088	6,08	10.814.002	14.239.906	75,94%	1.955.886	896.993	829.996	182.120	630.312	138.305	7.543.727,1	0,084
22	2006	2.630.792	1.582.561	1,66	6.672.223	1.003.082	6,65	10.575.627	13.974.827	75,68%	2.046.792	941.928	893.553	190.319	676.208	144.026	7.665.869,3	0,088
23	2007	3.655.080	1.573.266	2,32	6.231.700	921.449	6,76	10.148.193	13.516.426	75,08%	1.386.977	444.653	604.549	92.465	453.898	69.423	7.622.438,3	0,060
24	2008	3.088.415	1.559.377	1,98	7.215.561	1.045.709	6,90	10.556.017	14.115.643	74,78%	1.452.286	496.072	633.947	104.480	474.080	78.133	7.539.894,5	0,063
25	2009	3.038.017	1.541.400	1,97	7.856.784	1.090.972	7,20	10.781.288	14.366.298	75,05%	1.559.117	628.819	668.325	131.402	501.549	98.612	7.504.563,6	0,067
26	2010	3.914.263	1.622.687	2,41	6.774.425	1.048.138	6,46	10.822.729	14.469.307	74,80%	1.938.588	842.808	840.488	176.769	628.667	132.220	7.390.662,8	0,085
27	2011	4.376.678	1.675.455	2,61	8.818.082	1.151.261	7,66	10.818.682	14.478.312	74,72%	1.885.435	907.292	824.634	188.211	616.194	140.637	7.166.011,3	0,086
28	2012	2.232.660	1.805.969	1,24	7.581.815	1.022.255	7,42	10.502.796	14.140.654	74,27%	1.934.150	897.572	848.861	185.710	630.481	137.934	7.115.908,2	0,089
29	2013	5.787.935	2.256.186	2,57	7.976.512	1.067.441	7,47	10.413.549	14.037.367	74,18%	1.920.627	849.871	850.691	176.968	631.080	131.283	6.999.025,4	0,090
30	2014	6.000.268	2.447.538	2,45	8.124.240	1.097.038	7,41	10.357.685	13.956.953	74,21%	1.885.555	850.291	828.562	177.732	614.890	131.898	6.921.482,7	0,089
31	2015	7.114.388	2.640.300	2,69	8.557.751	1.104.607	7,75	10.218.192	13.737.316	74,38%	1.821.798	829.335	790.694	172.368	588.140	128.212	6.768.821,0	0,087
32	2016	7.063.439	2.715.356	2,60	7.380.830	1.046.182	7,06	10.125.882	13.590.282	74,51%	1.897.834	867.060	828.819	181.133	617.538	134.959	6.815.742,1	0,091
33	2017	8.792.495	2.821.663	3,12	8.611.992	1.086.153	7,93	9.876.497	13.353.122	73,96%	1.929.178	941.097	841.973	197.562	622.757	146.125	6.787.820,7	0,092
34	2018	7.927.910	2.898.216	2,74	8.280.497	1.051.460	7,88	9.206.124	12.551.432	73,35%	2.134.308	1.062.804	939.910	223.169	689.398	163.689	6.494.299,7	0,106

**APÊNDICE B – LISTA DE
MUNICÍPIOS QUE COMPÕEM
O BIOMA PAMPA NO RIO
GRANDE DO SUL**

1	Aceguá	62	Fortaleza dos Valos	128	128	Sto Antônio das Missões
2	Agudo	63	Garruchos		129	São Borja
3	Alegrete	64	General Câmara		130	São Francisco de Assis
4	Alvorada	65	Glorinha		131	São Gabriel
5	Amaral Ferrador	66	Gravataí		132	São Jerônimo
6	Arambaré	67	Guaíba		133	São José do Norte
7	Arroio do Padre	68	Herval		134	São José do Sul
8	Arroio do Sal	69	Hulha Negra		135	São Leopoldo
9	Arroio dos Ratos	70	Imbé		136	São Lourenço do Sul
10	Arroio Grande	71	Itaara		137	São Luiz Gonzaga
11	Augusto Pestana	72	Itacurubi		138	São Martinho da Serra
12	Bagé	73	Itaqui	139	139	São Miguel das Missões
13	Balneário Pinhal	74	Ivorá		140	São Nicolau
14	Barão do Triunfo	75	Ivoti		141	São Pedro do Butiá
15	Barra do Quaraí	76	Jaguarão		142	São Pedro do Sul
16	Barra do Ribeiro	77	Jaguari		143	São Sebastião do Caí
17	Boa Vista do Cadeado	78	Jari		144	São Sepé
18	Boa Vista do Incra	79	Jóia		145	São Vicente do Sul
19	Bossoroca	80	Júlio de Castilhos		146	Sapucaia do Sul
20	Brochier	81	Lavras do Sul		147	Sentinela do Sul
21	Butiá	82	Maçambará		148	Sertão Santana
22	Caçapava do Sul	83	Manoel Viana		149	Tabaí
23	Cacequi	84	Maquiné		150	Tapes
24	Cachoeira do Sul	85	Maratá		151	Taquari
25	Cachoeirinha	86	Mariana Pimentel		152	Tavares
26	Caibaté	87	Mata		153	Terra de Areia
27	Camaquã	88	Mato Queimado		154	Toropi
28	Campo Bom	89	Minas do Leão		155	Torres
29	Candelária	90	Montenegro		156	Tramandaí
30	Candiota	91	Morro Redondo		157	Três Cachoeiras
31	Canguçu	92	Mostardas		158	Triunfo
32	Canoas	93	Nova Esperança do Sul		159	Tupanciretã
33	Capão da Canoa	94	Nova Santa Rita		160	Turuçu
34	Capão do Cipó	95	Novo Hamburgo		161	Unistalda
35	Capão do Leão	96	Osório		162	Uruguaiana
36	Capela de Santana	97	Palmares do Sul		163	Vale Verde
37	Capivari do Sul	98	Pantano Grande		164	Venâncio Aires
38	Caraá	99	Paraíso do Sul		165	Vera Cruz
39	Cerrito	100	Pareci Novo		166	Viamão
40	Cerro Grande	101	Passo do Sobrado		167	Vila Nova do Sul
41	Cerro Largo	102	Paverama		168	Vitória das Missões
42	Charqueadas	103	Pedras Altas		169	X
43	Chuí	104	Pedro Osório			
44	Chувиска	105	Pelotas			
45	Cidreira	106	Pinhal Grande			
46	Cristal	107	Pinheiro Machado			
47	Cruz Alta	108	Piratini			
48	Dezesseis de Novembro	109	Portão			
49	Dilermando de Aguiar	110	Porto Alegre			
50	Dois Irmãos	111	Quaraí			
51	Dom Feliciano	112	Quevedos			
52	Dom Pedrito	113	Restinga Seca			
53	Dom Pedro de Alcântara	114	Rio Grande			
54	Eldorado do Sul	115	Rio Pardo			
55	Encruzilhada do Sul	116	Rolador			
56	Entre-Ijuís	117	Roque Gonzales			
57	Estância Velha	118	Rosário do Sul			
58	Esteio	119	Salto do Jacuí			
59	Eugênio de Castro	120	Sant'Ana do Livramento			
60	Fazenda Vila Nova	121	Santa Cruz do Sul			
61	Formigueiro	122	Santa Margarida do Sul			
		123	Santa Maria			
		124	Santa Vitória do Palmar			
		125	Santana da Boa Vista			
		126	Santiago			
		127	Sto Antônio da Patrulha			

APÊNDICE C - MEMÓRIA DE CÁLCULO PARA PERDAS DE SOLO

Conjunto	Tipo	Município	Elevação média	Fator C médio	Fator K médio	Fator R médio	Fator LS médio	Fator P utilizado	Perdas de solo (ton/ha)
1	Pecuária	Aceguá	168,29167	0,055229174	0,043600000	7.091,25000	0,482349169	0,2	1,647287
	Arroz	Aceguá	151,50000	0,202817127	0,095366701	7.073,00000	0,186180865	0,5	12,735327
2	Pecuária	Aceguá	166,83333	0,032695298	0,043600000	7.090,66667	0,492806728	0,2	0,996243
	Soja	Aceguá	173,95833	0,191063387	0,043600000	7.093,00000	0,618470837	0,8	29,235002
3	Pecuária	Aceguá	169,91667	0,050396609	0,043600000	7.082,00000	0,415723971	0,2	1,293835
	Soja	Aceguá	169,41667	0,196129847	0,043600000	7.083,66667	0,524917759	0,5	15,898259
4	Pecuária	Alegrete	169,87500	0,030367486	0,019549999	8.889,66667	0,791130377	0,2	0,835063
	Soja	Alegrete	161,82609	0,022441358	0,019549999	8.889,66667	0,833769242	0,5	1,625913
5	Pecuária	Alegrete	106,54545	0,014660000	0,019549999	8.913,00000	0,670956375	0,2	0,342791
	Soja	Alegrete	108,32000	0,083099763	0,019549999	8.916,33333	1,751135955	0,5	12,683020
6	Pecuária	Alegrete	121,13636	0,01466	0,029999999	8.872,66667	0,232664632	0,2	0,181581
	Arroz	Alegrete	117,72000	0,163617435	0,029999999	8.867,25000	0,313413037	0,8	10,913067
7	Pecuária	Jari	418,90909	0,114121251	0,038500000	8.789,33333	0,864166569	0,2	6,674376
	Soja	Jari	379,36360	0,197810124	0,042029999	8.799,66667	0,612910562	0,5	22,420290
8	Pecuária	Stº Ant. das Missões	73,00000	0,023537649	0,031166649	9.701,00000	0,209642529	0,2	0,298386
	Arroz	Stº Ant. das Missões	72,66667	0,255882114	0,029999999	9.660,00000	0,176037886	0,8	10,443220

Fonte: Autores

APÊNDICE D - MEMORIAL DE CÁLCULO DOS FLUXOS EMERGÉTICOS

		2019		
Sol	Pecuária			
	Insolação média	1,6E+03	kWh/m ² /ano	https://power.larc.nasa.gov/data-access-
	Albedo	1,4E-01	-	https://power.larc.nasa.gov/data-access-
	Área de incidência	1,0E+04	m ²	
	Cálculo - fórmula	área*insolação*(-1 albedo)		
	Valor calculado	1,4E+07	kWh/ano	
	Conversão	3,6E+06	J/(kWh)	
	Transformidade	1,0E+00	sej/J	Odum, 1996
Transformidade atualizada (Pós 2002)	1,7E+00	sej/J		
Vento	Pecuária			
	Velocidade	2,5E+00	m/s	https://power.larc.nasa.gov/data-access-
	Densidade do ar - Surface pressure	1,0E+00	kg/m ³	https://power.larc.nasa.gov/data-access-
	Velocidade geostrofica (60%)	1,5E+00	m/s	
	Fórmula de cálculo do valor geostrofico	Area*Dens.ar*C.arraste*(vento geo)^3		
	Coef. Arrasto	1,0E-03		
	Área	1,0E+04	m ²	
	Valor geostrofico	3,4E+00		
	Fator de conversão de unidades de tempo	3,2E+07	s/ano	
	Valor calculado	3,4E+01	J/s	
	Transformidade	2,5E+03	sej/J	Odum, 1996
Transformidade atualizada (Pós 2002)	4,2E+03	sej/J		
Chuva	Pecuária			
	Precipitação anual	1,5E+03	litros/m ² /ano	https://power.larc.nasa.gov/data-access-
	Área	1,0E+04	m ²	
	Densidade da água	1,0E+00	kg/l	
	Energia Livre Gibbs (ELG)	5,0E+03	J/kg	
	Fator de conversão	área*densid.Água*Energia Livre Gibs		
	Valor calculado (conversão)	5,0E+07	J/ano	
	Transformidade	1,8E+04	sej/J	Odum, 1996
Transformidade atualizada (Pós 2002)	3,1E+04	sej/J		
Solo	Pecuária			
	Perda de solo (média)	1,6E+03	kg/ha/ano	
	Mat. Org. solo superficial = (massa solo superf.) (% orgânico)			
	Relação da matéria orgânica no solo	1,1E-01		Organic matter in soil is reported
	Matéria orgânica no solo superficial usado	1,8E+02	kg/ha/ano	
	Teor de água na matéria orgânica	7,0E-01		
	Matéria orgânica seca perdida com erosão	5,3E+01	KgDW/ha/ano	
	Teor de energia da matéria orgânica seca	5,4E+03	Kcal/kgDW	Valor médio
	Energia = (kgDW/ha/a)*(5400 Kcal/kgDW)*(4186 J/Kcal)			
	Energy loss	1,2E+09	J/ha/yr	
Fator de conversão	7,3E+05			
Transformidade	1,2E+05	sej/J	Brown e Ulgiati, 2004	
Sol	Arroz:			
	Insolação média	1,6E+03	kWh/m ² /ano	https://power.larc.nasa.gov/data-access-
	Albedo	1,4E-01	-	
	Área de incidência	1,0E+04	m ²	
	Cálculo - fórmula	área*insolação*(-1 albedo)		
	Valor calculado	1,4E+07	kWh/ano	
	Conversão	3,6E+06	J/(kWh)	
	Transformidade	1,0E+00	sej/J	Odum, 1996
Transformidade atualizada	1,7E+00	sej/J		
Vento	Arroz:			
	Velocidade	2,5E+00	m/s	https://power.larc.nasa.gov/data-access-
	Densidade do ar	1,0E+00	kg/m ³	https://power.larc.nasa.gov/data-access-
	Velocidade geostrofica (60%)	1,5E+00	m/s	
	Fórmula de cálculo do valor geostrofico	Area*Dens.ar*C.arraste*(vento geo)^3		
	Coef. Arrasto	1,0E-03		
	Área	1,0E+04	m ²	
	Valor geostrofico	3,4E+00		
	Fator de conversão de unidades de tempo	3,2E+07	s/ano	
	Valor calculado	3,4E+01	J/s	
	Transformidade	2,5E+03	sej/J	Odum, 1996
Transformidade atualizada	4,2E+03	sej/J		
Chuva	Arroz:			
	Precipitação anual	1,5E+03	litros/m ² /ano	https://power.larc.nasa.gov/data-access-
	Área	1,0E+04	m ²	
	Densidade da água	1,0E+00	kg/l	
	Energia Livre Gibbs (ELG)	5,0E+03	J/kg	
	Fator de conversão	área*densid.Água*Energia Livre Gibs		
	Valor calculado (conversão)	5,0E+07	J/ano	
	Transformidade	1,8E+04	sej/J	Odum, 1996
Transformidade atualizada	3,1E+04	sej/J		
Solo	Arroz:			
	Perda de solo (média)	1,3E+04	kg/ha/ano	
	Mat. orgânica solo superficial = (massa do solo) (% orgânico)			
	Relação da matéria orgânica no solo	4,5E-02		Organic matter in soil is reported
	Matéria orgânica no solo superficial usado	5,7E+02	kg/ha/ano	
	Teor de água na matéria orgânica	7,0E-01		
	Matéria orgânica seca perdida com erosão	1,7E+02	KgDW/ha/ano	
	Teor de energia da matéria orgânica seca	5,4E+03	Kcal/kgDW	Valor médio
	Energia = (kgDW/ha/a)*(5400 Kcal/kgDW)*(4186 J/Kcal)			
	Energy loss	3,9E+09	J/ha/yr	
Fator de conversão	3,1E+05			
Transformidade	1,2E+05	sej/J	Brown e Ulgiati, 2004	

Pecuária		2019		
Sol	Insolação média	1,6E+03	kWh/m ² /ano https://power.larc.nasa.gov/data-access-	
	Albedo	1,4E-01	- https://power.larc.nasa.gov/data-access-	
	Área de incidência	1,0E+04	m ²	
	Cálculo - fórmula	área*insolação*(-1 albedo)	-	
	Valor calculado	1,4E+07	kWh/ano	
	Conversão	3,6E+06	J/(kWh)	
	Transformidade	1,0E+00	sej/J	Odum, 1996
	Transformidade atualizada (Pós 2002)	1,7E+00	sej/J	

Pecuária		2019	
Vento	Velocidade	2,5E+00	m/s https://power.larc.nasa.gov/data-access-
	Densidade do ar	1,0E+02	kg/m ³ https://power.larc.nasa.gov/data-access-
	Velocidade geostrofica (60%)	1,5E+00	m/s
	Fórmula de cálculo do valor geostrofico	Area*Dens.ar*C.arraste*(vento geo) ³	
	Coef. Arrasto	1,0E-03	
	Área	1,0E+04	m ²
	Valor geostrofico	3,4E+00	
	Fator de conversão de unidades de tempo	3,2E+07	s/ano
	Valor calculado	3,4E+03	J/s
	Transformidade	2,5E+03	sej/J
Transformidade atualizada (Pós 2002)	4,2E+03	sej/J	

Pecuária		2019	
Chuva	Precipitação anual	1,5E+03	litros/m ² /ano https://power.larc.nasa.gov/data-access-
	Área	1,0E+04	m ²
	Densidade da água	1,0E+00	kg/l
	Energia Livre Gibbs (ELG)	5,0E+03	J/kg
	Fator de conversão	área*densid.Água*Energia Livre Gibs	
	Valor calculado (conversão)	5,0E+07	J/ano
	Transformidade	1,8E+04	sej/J
Transformidade atualizada (Pós 2002)	3,1E+04	sej/J	

Pecuária		2019		
Solo	Perda de solo (média)	1,0E+03	kg/ha/ano	
	Mat. Org. solo superficial = (massa solo superf.) (% orgânico)			
	Relação % da matéria orgânica no solo	1,1E-01		Organic matter in soil is reported
	Matéria orgânica no solo superficial usado	1,1E+02	kg/ha/ano	
	Teor de água na matéria orgânica	7,0E-01		
	Matéria orgânica seca perdida com erosão	3,2E+01	KgDW/ha/ano	
	Teor de energia da matéria orgânica seca	5,4E+03	Kcal/kgDW	Valor médio
	Energia = (kgDW/ha/a)*(5400 Kcal/kgDW)*(4186 J/Kcal)			
	Energy loss	7,3E+08	J/ha/yr	
	Fator de conversão	7,3E+05		
Transformidade	1,2E+05	sej/J	Brown e Ulgiati, 2004	

Soja		2019		
Sol	Insolação média	1,6E+03	kWh/m ² /ano https://power.larc.nasa.gov/data-access-	
	Albedo	1,4E-01	-	
	Área de incidência	1,0E+04	m ²	
	Cálculo - fórmula	área*insolação*(-1 albedo)	-	
	Valor calculado	1,4E+07	kWh/ano	
	Conversão	3,6E+06	J/(kWh)	
	Transformidade	1,0E+00	sej/J	Odum, 1996
	Transformidade atualizada	1,7E+00	sej/J	

Soja		2019	
Vento	Velocidade	2,5E+00	m/s https://power.larc.nasa.gov/data-access-
	Densidade do ar	1,0E+02	kg/m ³ https://power.larc.nasa.gov/data-access-
	Velocidade geostrofica (60%)	1,5E+00	m/s
	Fórmula de cálculo do valor geostrofico	Area*Dens.ar*C.arraste*(vento geo) ³	
	Coef. Arrasto	1,0E-03	
	Área	1,0E+04	m ²
	Valor geostrofico	3,4E+00	
	Fator de conversão de unidades de tempo	3,2E+07	s/ano
	Valor calculado	3,4E+03	J/s
	Transformidade	2,5E+03	sej/J
Transformidade atualizada	4,2E+03	sej/J	

Soja		2019	
Chuva	Precipitação anual	1,5E+03	litros/m ² /ano https://power.larc.nasa.gov/data-access-
	Área	1,0E+04	m ²
	Densidade da água	1,0E+00	kg/l
	Energia Livre Gibbs (ELG)	5,0E+03	J/kg
	Fator de conversão	área*densid.Água*Energia Livre Gibs	
	Valor calculado (conversão)	5,0E+07	J/ano
	Transformidade	1,8E+04	sej/J
Transformidade atualizada	3,1E+04	sej/J	

Soja		2019		
Solo	Perda de solo (média)	2,9E+04	kg/ha/ano	
	Matéria orgânica no solo superficial = (massa solo superficial) (% orgânico)			
	Relação da matéria orgânica no solo	1,1E-01		Organic matter in soil is reported
	Matéria orgânica no solo superficial usado	3,1E+03	kg/ha/ano	
	Teor de água na matéria orgânica	7,0E-01		
	Matéria orgânica seca perdida com erosão	9,4E+02	KgDW/ha/ano	
	Teor de energia da matéria orgânica seca	5,4E+03	Kcal/kgDW	Valor médio
	Energia = (kgDW/ha/a)*(5400 Kcal/kgDW)*(4186 J/Kcal)			
	Energy loss	2,1E+10	J/ha/yr	
	Fator de conversão	7,3E+05		
Transformidade	1,2E+05	sej/J	Brown e Ulgiati, 2004	

Pecuária		2019		
Sol	Insolação média	1,6E+03	kWh/m ² /ano https://power.larc.nasa.gov/data-access-	
	Albedo	1,4E-01	- https://power.larc.nasa.gov/data-access-	
	Área de incidência	1,0E+04	m ²	
	Cálculo - fórmula	área*insolação*(-1 albedo)	-	
	Valor calculado	1,4E+07	kWh/ano	
	Conversão	3,6E+06	J/(kWh)	
	Transformidade	1,0E+00	sej/J	Odum, 1996
	Transformidade atualizada (Pós 2002)	1,7E+00	sej/J	

Pecuária		2019	
Vento	Velocidade	2,5E+00	m/s https://power.larc.nasa.gov/data-access-
	Densidade do ar	1,0E+02	kg/m ³ https://power.larc.nasa.gov/data-access-
	Velocidade geostrofica (60%)	1,5E+00	m/s
	Fórmula de cálculo do valor geostrofico	Area*Dens.ar*C.arraste*(vento geo) ³	Fonte
	Coef. Arrasto	1,0E-03	
	Área	1,0E+04	m ²
	Valor geostrofico	3,4E+00	
	Fator de conversão de unidades de tempo	3,2E+07	s/ano
	Valor calculado	3,4E+03	J/s
	Transformidade	2,5E+03	sej/J
Transformidade atualizada (Pós 2002)	4,2E+03	sej/J	

Pecuária		2019		
Chuva	Precipitação anual	1,5E+03	litros/m ² /ano https://power.larc.nasa.gov/data-access-	
	Área	1,0E+04	m ²	
	Densidade da água	1,0E+00	kg/l	
	Energia Livre Gibbs (ELG)	5,0E+03	J/kg	
	Fator de conversão	área*densid.Água*Energia Livre Gibs		
	Valor calculado (conversão)	5,0E+07	J/ano	
	Transformidade	1,8E+04	sej/J	Odum, 1996
	Transformidade atualizada (Pós 2002)	3,1E+04	sej/J	

Pecuária		2019		
Solo	Perda de solo (média)	1,3E+03	kg/ha/ano	
	Matéria orgânica no solo superficial = (massa do solo superficial) (% orgânico)			
	Relação da matéria orgânica no solo	1,1E-01		Organic matter in soil is reported
	Matéria orgânica no solo superficial usado	1,4E+02	kg/ha/ano	
	Teor de água na matéria orgânica	7,0E-01		
	Matéria orgânica seca perdida com erosão	4,2E+01	KgDW/ha/ano	
	Teor de energia da matéria orgânica seca	5,4E+03	Kcal/kgDW	Valor médio
	Energia = (kgDW/ha/a)*(5400 Kcal/kgDW)*(4186 J/Kcal)			
	Energy loss	9,4E+08	J/ha/yr	
	Fator de conversão	7,3E+05		
Transformidade	1,2E+05	sej/J	Brown e Ulgiati, 2004	

Soja		2019		
Sol	Insolação média	1,6E+03	kWh/m ² /ano https://power.larc.nasa.gov/data-access-	
	Albedo	1,4E-01	-	
	Área de incidência	1,0E+04	m ²	
	Cálculo - fórmula	área*insolação*(-1 albedo)	-	
	Valor calculado	1,4E+07	kWh/ano	
	Conversão	3,6E+06	J/(kWh)	
	Transformidade	1,0E+00	sej/J	Odum, 1996
	Transformidade atualizada	1,7E+00	sej/J	

Soja		2019	
Vento	Velocidade	2,5E+00	m/s https://power.larc.nasa.gov/data-access-
	Densidade do ar	1,0E+02	kg/m ³ https://power.larc.nasa.gov/data-access-
	Velocidade geostrofica (60%)	1,5E+00	m/s
	Fórmula de cálculo do valor geostrofico	Area*Dens.ar*C.arraste*(vento geo) ³	Fonte
	Coef. Arrasto	1,0E-03	
	Área	1,0E+04	m ²
	Valor geostrofico	3,4E+00	
	Fator de conversão de unidades de tempo	3,2E+07	s/ano
	Valor calculado	3,4E+03	J/s
	Transformidade	2,5E+03	sej/J
Transformidade atualizada	4,2E+03	sej/J	

Soja		2019		
Chuva	Precipitação anual	1,5E+03	litros/m ² /ano https://power.larc.nasa.gov/data-access-	
	Área	1,0E+04	m ²	
	Densidade da água	1,0E+00	kg/l	
	Energia Livre Gibbs (ELG)	5,0E+03	J/kg	
	Fator de conversão	área*densid.Água*Energia Livre Gibs		
	Valor calculado (conversão)	5,0E+07	J/ano	
	Transformidade	1,8E+04	sej/J	Odum, 1996
	Transformidade atualizada	3,1E+04	sej/J	

Soja		2019		
Solo	Perda de solo (média)	1,6E+04	kg/ha/ano	
	Matéria orgânica no solo superficial = (massa do solo superficial) (% orgânico)			
	Relação da matéria orgânica no solo	1,1E-01		Organic matter in soil is reported
	Matéria orgânica no solo superficial usado	1,7E+03	kg/ha/ano	
	Teor de água na matéria orgânica	7,0E-01		
	Matéria orgânica seca perdida com erosão	5,1E+02	KgDW/ha/ano	
	Teor de energia da matéria orgânica seca	5,4E+03	Kcal/kgDW	Valor médio
	Energia = (kgDW/ha/a)*(5400 Kcal/kgDW)*(4186 J/Kcal)			
	Energy loss	1,2E+10	J/ha/yr	
	Fator de conversão	7,3E+05		
Transformidade	1,2E+05	sej/J	Brown e Ulgiati, 2004	

Pecuária		2019		
Sol	Insolação média	1,7E+03	kWh/m ² /ano	https://power.larc.nasa.gov/data-access-
	Albedo	1,4E-01	-	https://power.larc.nasa.gov/data-access-
	Área de incidência	1,0E+04	m ²	
	Cálculo - fórmula	área*insolação*(-1 albedo)	-	
	Valor calculado	1,5E+07	kWh/ano	
	Conversão	3,6E+06	J/(kWh)	
	Transformidade	1,0E+00	sej/J	Odum, 1996
	Transformidade atualizada (Pós 2002)	1,7E+00	sej/J	

Pecuária		2019		
Vento	Velocidade	3,0E+00	m/s	https://power.larc.nasa.gov/data-access-
	Densidade do ar	1,0E+02	kg/m ³	https://power.larc.nasa.gov/data-access-
	Velocidade geostrofica (60%)	1,8E+00	m/s	
	Fórmula de cálculo do valor geostrofico	Area*Dens.ar*C.arraste*(vento geo)^3		Fonte
	Coef. Arrasto	1,0E-03		
	Área	1,0E+04	m ²	
	Valor geostrofico	5,8E+00		
	Fator de conversão de unidades de tempo	3,2E+07	s/ano	
	Valor calculado	5,8E+03	J/s	
	Transformidade	2,5E+03	sej/J	Odum, 1996
Transformidade atualizada (Pós 2002)	4,2E+03	sej/J		

Pecuária		2019		
Chuva	Precipitação anual	1,6E+03	litros/m ² /ano	https://power.larc.nasa.gov/data-access-
	Área	1,0E+04	m ²	
	Densidade da água	1,0E+00	kg/l	
	Energia Livre Gibbs (ELG)	5,0E+03	J/kg	
	Fator de conversão	área*densid.Água*Energia Livre Gibs		
	Valor calculado (conversão)	5,0E+07	J/ano	
	Transformidade	1,8E+04	sej/J	Odum, 1996
	Transformidade atualizada (Pós 2002)	3,1E+04	sej/J	

Pecuária		2019		
Solo	Perda de solo (média)	8,4E+02	kg/ha/ano	
	Mat. orgânica solo superficial = (massa do solo) (% orgânico)			Organic matter in soil is reported
	Relação da matéria orgânica no solo	1,1E-01		
	Matéria orgânica no solo superficial usado	9,0E+01	kg/ha/ano	
	Teor de água na matéria orgânica	7,0E-01		
	Matéria orgânica seca perdida com erosão	2,7E+01	KgDW/ha/ano	
	Teor de energia da matéria orgânica seca	5,4E+03	Kcal/kgDW	Valor médio
	Energia = (kgDW/ha/a)*(5400 Kcal/kgDW)*(4186 J/Kcal)			
	Energy loss	6,1E+08	J/ha/yr	
	Fator de conversão	7,3E+05		
Transformidade	1,2E+05	sej/J	Brown e Ulgiati, 2004	

Soja:		2019		
Sol	Insolação média	1,7E+03	kWh/m ² /ano	https://power.larc.nasa.gov/data-access-
	Albedo	1,4E-01	-	
	Área de incidência	1,0E+04	m ²	
	Cálculo - fórmula	área*insolação*(-1 albedo)	-	
	Valor calculado	1,5E+07	kWh/ano	
	Conversão	3,6E+06	J/(kWh)	
	Transformidade	1,0E+00	sej/J	Odum, 1996
	Transformidade atualizada	1,7E+00	sej/J	

Soja:		2019		
Vento	Velocidade	3,0E+00	m/s	https://power.larc.nasa.gov/data-access-
	Densidade do ar	1,0E+02	kg/m ³	https://power.larc.nasa.gov/data-access-
	Velocidade geostrofica (60%)	1,8E+00	m/s	
	Fórmula de cálculo do valor geostrofico	Area*Dens.ar*C.arraste*(vento geo)^3		
	Coef. Arrasto	1,0E-03		
	Área	1,0E+04	m ²	
	Valor geostrofico	5,8E+00		
	Fator de conversão de unidades de tempo	3,2E+07	s/ano	
	Valor calculado	5,8E+03	J/s	
	Transformidade	2,5E+03	sej/J	Odum, 1996
Transformidade atualizada	4,2E+03	sej/J		

Soja:		2019		
Chuva	Precipitação anual	1,6E+03	litros/m ² /ano	https://power.larc.nasa.gov/data-access-
	Área	1,0E+04	m ²	
	Densidade da água	1,0E+00	kg/l	
	Energia Livre Gibbs (ELG)	5,0E+03	J/kg	
	Fator de conversão	área*densid.Água*Energia Livre Gibs		
	Valor calculado (conversão)	5,0E+07	J/ano	
	Transformidade	1,8E+04	sej/J	Odum, 1996
	Transformidade atualizada	3,1E+04	sej/J	

Soja		2019		
Solo	Perda de solo (média)	1,6E+03	kg/ha/ano	
	Mat. orgânica solo superficial = (massa do solo) (% orgânico)			Organic matter in soil is reported
	Relação da matéria orgânica no solo	1,1E-01		
	Matéria orgânica no solo superficial usado	1,7E+02	kg/ha/ano	
	Teor de água na matéria orgânica	7,0E-01		
	Matéria orgânica seca perdida com erosão	5,2E+01	KgDW/ha/ano	
	Teor de energia da matéria orgânica seca	5,4E+03	Kcal/kgDW	Valor médio
	Energia = (kgDW/ha/a)*(5400 Kcal/kgDW)*(4186 J/Kcal)			
	Energy loss	1,2E+09	J/ha/yr	
	Fator de conversão	7,3E+05		
Transformidade	1,2E+05	sej/J	Brown e Ulgiati, 2004	

		2019		
Sol	Pecuária			
	Insolação média	1,7E+03	kWh/m ² /ano	https://power.larc.nasa.gov/data-access-
	Albedo	1,4E-01	-	https://power.larc.nasa.gov/data-access-
	Área de incidência	1,0E+04	m ²	
	Cálculo - fórmula	área*insolação*(-1 albedo)	-	
	Valor calculado	1,5E+07	kWh/ano	
	Conversão	3,6E+06	J/(kWh)	
	Transformidade	1,0E+00	sej/J	Odum, 1996
	Transformidade atualizada (Pós 2002)	1,7E+00	sej/J	
Vento	Pecuária			
	Velocidade	3,0E+00	m/s	https://power.larc.nasa.gov/data-access-
	Densidade do ar	1,0E+02	kg/m ³	https://power.larc.nasa.gov/data-access-
	Velocidade geostrofica (60%)	1,8E+00	m/s	
	Fórmula de cálculo do valor geostrofico	Area*Dens.ar*C.arraste*(vento geo)^3		
	Coef. Arrasto	1,0E-03		
	Área	1,0E+04	m ²	
	Valor geostrofico	5,7E+00		
	Fator de conversão de unidades de tempo	3,2E+07	s/ano	
	Valor calculado	5,7E+03	J/s	
	Transformidade	2,5E+03	sej/J	Odum, 1996
	Transformidade atualizada (Pós 2002)	4,2E+03	sej/J	
Chuva	Pecuária			
	Precipitação anual	1,6E+03	litros/m ² /ano	https://power.larc.nasa.gov/data-access-
	Área	1,0E+04	m ²	
	Densidade da água	1,0E+00	kg/l	
	Energia Livre Gibbs (ELG)	5,0E+03	J/kg	
	Fator de conversão	área*densid.Água*Energia Livre Gibs		
	Valor calculado (conversão)	5,0E+07	J/ano	
	Transformidade	1,8E+04	sej/J	Odum, 1996
	Transformidade atualizada (Pós 2002)	3,1E+04	sej/J	
Solo	Pecuária			
	Perda de solo (média)	3,4E+02	kg/ha/ano	
	Mat. orgânica solo superficial = (massa do solo) (% orgânico)			
	Relação da matéria orgânica no solo	1,1E-01		Organic matter in soil is reported
	Matéria orgânica no solo superficial usado	3,7E+01	kg/ha/ano	
	Teor de água na matéria orgânica	7,0E-01		
	Matéria orgânica seca perdida com erosão	1,1E+01	KgDW/ha/ano	
	Teor de energia da matéria orgânica seca	5,4E+03	Kcal/kgDW	Valor médio
	Energia = (kgDW/ha/a)*(5400 Kcal/kgDW)*(4186 J/Kcal)			
	Energy loss	2,5E+08	J/ha/yr	
	Fator de conversão	7,3E+05		
	Transformidade	1,2E+05	sej/J	Brown e Ulgiati, 2004
Sol	Soja			
	Insolação média	1,7E+03	kWh/m ² /ano	https://power.larc.nasa.gov/data-access-
	Albedo	1,4E-01	-	
	Área de incidência	1,0E+04	m ²	
	Cálculo - fórmula	área*insolação*(-1 albedo)	-	
	Valor calculado	1,5E+07	kWh/ano	
	Conversão	3,6E+06	J/(kWh)	
	Transformidade	1,0E+00	sej/J	Odum, 1996
	Transformidade atualizada	1,7E+00	sej/J	
Vento	Soja			
	Velocidade	3,0E+00	m/s	https://power.larc.nasa.gov/data-access-
	Densidade do ar	1,0E+02	kg/m ³	https://power.larc.nasa.gov/data-access-
	Velocidade geostrofica (60%)	1,8E+00	m/s	
	Fórmula de cálculo do valor geostrofico	Area*Dens.ar*C.arraste*(vento geo)^3		Fonte
	Coef. Arrasto	1,0E-03		
	Área	1,0E+04	m ²	
	Valor geostrofico	5,7E+00		
	Fator de conversão de unidades de tempo	3,2E+07	s/ano	
	Valor calculado	5,7E+03	J/s	
	Transformidade	2,5E+03	sej/J	Odum, 1996
	Transformidade atualizada	4,2E+03	sej/J	
Chuva	Soja			
	Precipitação anual	1,7E+03	litros/m ² /ano	https://power.larc.nasa.gov/data-access-
	Área	1,0E+04	m ²	
	Densidade da água	1,0E+00	kg/l	
	Energia Livre Gibbs (ELG)	5,0E+03	J/kg	
	Fator de conversão	área*densid.Água*Energia Livre Gibs		
	Valor calculado (conversão)	5,0E+07	J/ano	
	Transformidade	1,8E+04	sej/J	Odum, 1996
	Transformidade atualizada	3,1E+04	sej/J	
Solo	Soja			
	Perda de solo (média)	1,3E+04	kg/ha/ano	
	Mat. orgânica solo superficial = (massa do solo) (% orgânico)			
	Relação da matéria orgânica no solo	1,1E-01		Organic matter in soil is reported
	Matéria orgânica no solo superficial usado	1,4E+03	kg/ha/ano	
	Teor de água na matéria orgânica	7,0E-01		
	Matéria orgânica seca perdida com erosão	4,1E+02	KgDW/ha/ano	
	Teor de energia da matéria orgânica seca	5,4E+03	Kcal/kgDW	Valor médio
	Energia = (kgDW/ha/a)*(5400 Kcal/kgDW)*(4186 J/Kcal)			
	Energy loss	9,2E+09	J/ha/yr	
	Fator de conversão	7,3E+05		
	Transformidade	1,2E+05	sej/J	Brown e Ulgiati, 2004

Pecuária		2019		
Sol	Insolação média	1,8E+03	kWh/m ² /ano https://power.larc.nasa.gov/data-access-	
	Albedo	1,4E-01	- https://power.larc.nasa.gov/data-access-	
	Área de incidência	1,0E+04	m ²	
	Cálculo - fórmula	área*insolação*(-1 albedo)	-	
	Valor calculado	1,6E+07	kWh/ano	
	Conversão	3,6E+06	J/(kWh)	
	Transformidade	1,0E+00	sej/J	Odum, 1996
	Transformidade atualizada (Pós 2002)	1,7E+00	sej/J	

Pecuária		2019		
Vento	Velocidade	3,9E+00	m/s https://power.larc.nasa.gov/data-access-	
	Densidade do ar	1,0E+02	kg/m ³ https://power.larc.nasa.gov/data-access-	
	Velocidade geostrofica (60%)	2,3E+00	m/s	
	Fórmula de cálculo do valor geostrofico	Area*Dens.ar*C.arraste*(vento geo) ³		Fonte
	Coef. Arrasto	1,0E-03		
	Área	1,0E+04	m ²	
	Valor geostrofico	1,3E+01		
	Fator de conversão de unidades de tempo	3,2E+07	s/ano	
	Valor calculado	1,3E+04	J/s	
	Transformidade	2,5E+03	sej/J	Odum, 1996
Transformidade atualizada (Pós 2002)	4,2E+03	sej/J		

Pecuária		2019		
Chuva	Precipitação anual	1,6E+03	litros/m ² /ano https://power.larc.nasa.gov/data-access-	
	Área	1,0E+04	m ²	
	Densidade da água	1,0E+00	kg/l	
	Energia Livre Gibbs (ELG)	5,0E+03	J/kg	
	Fator de conversão	área*densid.Água*Energia Livre Gibs		
	Valor calculado (conversão)	5,0E+07	J/ano	
	Transformidade	1,8E+04	sej/J	Odum, 1996
Transformidade atualizada (Pós 2002)	3,1E+04	sej/J		

Pecuária		2019		
Solo	Perda de solo (média)	1,8E+02	kg/ha/ano	
	Mat. orgânica solo superficial = (massa do solo) (% orgânico)			Organic matter in soil is reported
	Relação da matéria orgânica no solo	1,1E-01		
	Matéria orgânica no solo superficial usado	2,0E+01	kg/ha/ano	
	Teor de água na matéria orgânica	7,0E-01		
	Matéria orgânica seca perdida com erosão	5,9E+00	KgDW/ha/ano	
	Teor de energia da matéria orgânica seca	5,4E+03	Kcal/kgDW	Valor médio
	Energia = (kgDW/ha/a)*(5400 Kcal/kgDW)*(4186 J/Kcal)			
	Energy loss	1,3E+08	J/ha/yr	
	Fator de conversão	7,3E+05		
Transformidade	1,2E+05	sej/J	Brown e Ulgiati, 2004	

Arroz:		2019		
Sol	Insolação média	1,7E+03	kWh/m ² /ano https://power.larc.nasa.gov/data-access-	
	Albedo	1,4E-01	-	
	Área de incidência	1,0E+04	m ²	
	Cálculo - fórmula	área*insolação*(-1 albedo)	-	
	Valor calculado	1,5E+07	kWh/ano	
	Conversão	3,6E+06	J/(kWh)	
	Transformidade	1,0E+00	sej/J	Odum, 1996
	Transformidade atualizada	1,7E+00	sej/J	

Arroz:		2019		
Vento	Velocidade	3,9E+00	m/s https://power.larc.nasa.gov/data-access-	
	Densidade do ar	1,0E+02	kg/m ³ https://power.larc.nasa.gov/data-access-	
	Velocidade geostrofica (60%)	2,3E+00	m/s	
	Fórmula de cálculo do valor geostrofico	Area*Dens.ar*C.arraste*(vento geo) ³		Fonte
	Coef. Arrasto	1,0E-03		
	Área	1,0E+04	m ²	
	Valor geostrofico	1,3E+01		
	Fator de conversão de unidades de tempo	3,2E+07	s/ano	
	Valor calculado	1,3E+04	J/s	
	Transformidade	2,5E+03	sej/J	Odum, 1996
Transformidade atualizada	4,2E+03	sej/J		

Arroz:		2019		
Chuva	Precipitação anual	1,6E+03	litros/m ² /ano https://power.larc.nasa.gov/data-access-	
	Área	1,0E+04	m ²	
	Densidade da água	1,0E+00	kg/l	
	Energia Livre Gibbs (ELG)	5,0E+03	J/kg	
	Fator de conversão	área*densid.Água*Energia Livre Gibs		
	Valor calculado (conversão)	5,0E+07	J/ano	
	Transformidade	1,8E+04	sej/J	Odum, 1996
Transformidade atualizada	3,1E+04	sej/J		

Arroz		2019		
Solo	Perda de solo (média)	1,1E+04	kg/ha/ano	
	Mat. orgânica solo superficial = (massa do solo) (% orgânico)			Organic matter in soil is reported
	Relação da matéria orgânica no solo	1,1E-01		
	Matéria orgânica no solo superficial usado	1,2E+03	kg/ha/ano	
	Teor de água na matéria orgânica	7,0E-01		
	Matéria orgânica seca perdida com erosão	3,5E+02	KgDW/ha/ano	
	Teor de energia da matéria orgânica seca	5,4E+03	Kcal/kgDW	Valor médio
	Energia = (kgDW/ha/a)*(5400 Kcal/kgDW)*(4186 J/Kcal)			
	Energy loss	8,0E+09	J/ha/yr	
	Fator de conversão	7,3E+05		
Transformidade	1,2E+05	sej/J	Brown e Ulgiati, 2004	

		2019		
Sol	Pecuária			
	Insolação média	1,7E+03	kWh/m ² /ano	https://power.larc.nasa.gov/data-access-
	Albedo	1,4E-01	-	https://power.larc.nasa.gov/data-access-
	Área de incidência	1,0E+04	m ²	
	Cálculo - fórmula	área*insolação*(-1 albedo)	-	
	Valor calculado	1,4E+07	kWh/ano	
	Conversão	3,6E+06	J/(kWh)	
	Transformidade	1,0E+00	sej/J	Odum, 1996
	Transformidade atualizada (Pós 2002)	1,7E+00	sej/J	
Vento	Pecuária			
	Velocidade	2,4E+00	m/s	https://power.larc.nasa.gov/data-access-
	Densidade do ar	9,8E+01	kg/m ³	https://power.larc.nasa.gov/data-access-
	Velocidade geostrofica (60%)	1,5E+00	m/s	
	Fórmula de cálculo do valor geostrofico	Area*Dens.ar*C.arraste*(vento geo) ³		Fonte
	Coef. Arrasto	1,0E-03		
	Área	1,0E+04	m ²	
	Valor geostrofico	3,1E+00		
	Fator de conversão de unidades de tempo	3,2E+07	s/ano	
	Valor calculado	3,0E+03	J/s	
Transformidade	2,5E+03	sej/J	Odum, 1996	
	Transformidade atualizada (Pós 2002)	4,2E+03	sej/J	
Chuva	Pecuária			
	Precipitação anual	1,8E+03	litros/m ² /ano	https://power.larc.nasa.gov/data-access-
	Área	1,0E+04	m ²	
	Densidade da água	1,0E+00	kg/l	
	Energia Livre Gibbs (ELG)	5,0E+03	J/kg	
	Fator de conversão	área*densid.Água*Energia Livre Gibs		
	Valor calculado (conversão)	5,0E+07	J/ano	
Transformidade	1,8E+04	sej/J	Odum, 1996	
	Transformidade atualizada (Pós 2002)	3,1E+04	sej/J	
Solo	Pecuária			
	Perda de solo (média)	6,7E+03	kg/ha/ano	
	Mat. orgânica solo superficial = (massa do solo) (% orgânico)			Organic matter in soil is reported
	Relação da matéria orgânica no solo	1,1E-01		
	Matéria orgânica no solo superficial usado	7,2E+02	kg/ha/ano	
	Teor de água na matéria orgânica	7,0E-01		
	Matéria orgânica seca perdida com erosão	2,2E+02	KgDW/ha/ano	
	Teor de energia da matéria orgânica seca	5,4E+03	Kcal/kgDW	Valor médio
	Energia = (kgDW/ha/a)*(5400 Kcal/kgDW)*(4186 J/Kcal)			
	Energy loss	4,9E+09	J/ha/yr	
Fator de conversão	7,3E+05			
Transformidade	1,2E+05	sej/J	Brown e Ulgiati, 2004	
Sol	Soja			
	Insolação média	1,7E+03	kWh/m ² /ano	https://power.larc.nasa.gov/data-access-
	Albedo	1,4E-01	-	
	Área de incidência	1,0E+04	m ²	
	Cálculo - fórmula	área*insolação*(-1 albedo)	-	
	Valor calculado	1,4E+07	kWh/ano	
	Conversão	3,6E+06	J/(kWh)	
	Transformidade	1,0E+00	sej/J	Odum, 1996
	Transformidade atualizada	1,7E+00	sej/J	
Vento	Soja			
	Velocidade	2,4E+00	m/s	https://power.larc.nasa.gov/data-access-
	Densidade do ar	9,8E+01	kg/m ³	https://power.larc.nasa.gov/data-access-
	Velocidade geostrofica (60%)	1,5E+00	m/s	
	Fórmula de cálculo do valor geostrofico	Area*Dens.ar*C.arraste*(vento geo) ³		Fonte
	Coef. Arrasto	1,0E-03		
	Área	1,0E+04	m ²	
	Valor geostrofico	3,1E+00		
	Fator de conversão de unidades de tempo	3,2E+07	s/ano	
	Valor calculado	3,0E+03	J/s	
Transformidade	2,5E+03	sej/J	Odum, 1996	
	Transformidade atualizada	4,2E+03	sej/J	
Chuva	Soja			
	Precipitação anual	1,8E+03	litros/m ² /ano	https://power.larc.nasa.gov/data-access-
	Área	1,0E+04	m ²	
	Densidade da água	1,0E+00	kg/l	
	Energia Livre Gibbs (ELG)	5,0E+03	J/kg	
	Fator de conversão	área*densid.Água*Energia Livre Gibs		
	Valor calculado (conversão)	5,0E+07	J/ano	
Transformidade	1,8E+04	sej/J	Odum, 1996	
	Transformidade atualizada	3,1E+04	sej/J	
Solo	Soja			
	Perda de solo (média)	2,2E+04	kg/ha/ano	
	Mat. orgânica solo superficial = (massa do solo) (% orgânico)			Organic matter in soil is reported
	Relação da matéria orgânica no solo	1,1E-01		
	Matéria orgânica no solo superficial usado	2,4E+03	kg/ha/ano	
	Teor de água na matéria orgânica	7,0E-01		
	Matéria orgânica seca perdida com erosão	7,2E+02	KgDW/ha/ano	
	Teor de energia da matéria orgânica seca	5,4E+03	Kcal/kgDW	Valor médio
	Energia = (kgDW/ha/a)*(5400 Kcal/kgDW)*(4186 J/Kcal)			
	Energy loss	1,6E+10	J/ha/yr	
Fator de conversão	7,3E+05			
Transformidade	1,2E+05	sej/J	Brown e Ulgiati, 2004	

Pecuária		2019		
Sol	Insolação média	1,7E+03	kWh/m ² /ano	https://power.larc.nasa.gov/data-access-
	Albedo	1,3E-01	-	https://power.larc.nasa.gov/data-access-
	Área de incidência	1,0E+04	m ²	
	Cálculo - fórmula	área*insolação*(-1 albedo)	-	
	Valor calculado	1,5E+07	kWh/ano	
	Conversão	3,6E+06	J/(kWh)	
	Transformidade	1,0E+00	sej/J	Odum, 1996
	Transformidade atualizada (Pós 2002)	1,7E+00	sej/J	
Pecuária		2019		
Vento	Velocidade	2,1E+00	m/s	https://power.larc.nasa.gov/data-access-
	Densidade do ar	1,0E+02	kg/m ³	https://power.larc.nasa.gov/data-access-
	Velocidade geostrofica (60%)	1,3E+00	m/s	
	Fórmula de cálculo do valor geostrofico	Area*Dens.ar*C.arraste*(vento geo) ³		Fonte
	Coef. Arrasto	1,0E-03		
	Área	1,0E+04	m ²	
	Valor geostrofico	2,1E+00		
	Fator de conversão de unidades de tempo	3,2E+07	s/ano	
	Valor calculado	2,1E+03	J/s	
	Transformidade	2,5E+03	sej/J	Odum, 1996
Transformidade atualizada (Pós 2002)	4,2E+03	sej/J		
Pecuária		2019		
Chuva	Precipitação anual	1,7E+03	litros/m ² /ano	https://power.larc.nasa.gov/data-access-
	Área	1,0E+04	m ²	
	Densidade da água	1,0E+00	kg/l	
	Energia Livre Gibbs (ELG)	5,0E+03	J/kg	
	Fator de conversão	área*densid.Água*Energia Livre Gibs		
	Valor calculado (conversão)	5,0E+07	J/ano	
	Transformidade	1,8E+04	sej/J	Odum, 1996
	Transformidade atualizada (Pós 2002)	3,1E+04	sej/J	
Pecuária		2019		
Solo	Perda de solo (média)	3,0E+02	kg/ha/ano	
	Mat. orgânica solo superficial = (massa do solo) (% orgânico)			Organic matter in soil is reported
	Relação da matéria orgânica no solo	1,1E-01		
	Matéria orgânica no solo superficial usado	3,2E+01	kg/ha/ano	
	Teor de água na matéria orgânica	7,0E-01		
	Matéria orgânica seca perdida com erosão	9,6E+00	KgDW/ha/ano	
	Teor de energia da matéria orgânica seca	5,4E+03	Kcal/kgDW	Valor médio
	Energia = (kgDW/ha/a)*(5400 Kcal/kgDW)*(4186 J/Kcal)			
	Energy loss	2,2E+08	J/ha/yr	
	Fator de conversão	7,3E+05		
Transformidade	1,2E+05	sej/J	Brown e Ulgiati, 2004	
Arroz:		2019		
Sol	Insolação média	1,7E+03	kWh/m ² /ano	https://power.larc.nasa.gov/data-access-
	Albedo	1,3E-01	-	
	Área de incidência	1,0E+04	m ²	
	Cálculo - fórmula	área*insolação*(-1 albedo)	-	
	Valor calculado	1,5E+07	kWh/ano	
	Conversão	3,6E+06	J/(kWh)	
	Transformidade	1,0E+00	sej/J	Odum, 1996
	Transformidade atualizada	1,7E+00	sej/J	
Arroz:		2019		
Vento	Velocidade	2,1E+00	m/s	https://power.larc.nasa.gov/data-access-
	Densidade do ar	1,0E+02	kg/m ³	https://power.larc.nasa.gov/data-access-
	Velocidade geostrofica (60%)	1,3E+00	m/s	
	Fórmula de cálculo do valor geostrofico	Area*Dens.ar*C.arraste*(vento geo) ³		Fonte
	Coef. Arrasto	1,0E-03		
	Área	1,0E+04	m ²	
	Valor geostrofico	2,1E+00		
	Fator de conversão de unidades de tempo	3,2E+07	s/ano	
	Valor calculado	2,1E+03	J/s	
	Transformidade	2,5E+03	sej/J	Odum, 1996
Transformidade atualizada	4,2E+03	sej/J		
Arroz:		2019		
Chuva	Precipitação anual	1,7E+03	litros/m ² /ano	https://power.larc.nasa.gov/data-access-
	Área	1,0E+04	m ²	
	Densidade da água	1,0E+00	kg/l	
	Energia Livre Gibbs (ELG)	5,0E+03	J/kg	
	Fator de conversão	área*densid.Água*Energia Livre Gibs		
	Valor calculado (conversão)	5,0E+07	J/ano	
	Transformidade	1,8E+04	sej/J	Odum, 1996
	Transformidade atualizada	3,1E+04	sej/J	
Arroz		2019		
Solo	Perda de solo (média)	1,0E+04	kg/ha/ano	
	Mat. orgânica solo superficial = (massa do solo) (% orgânico)			Organic matter in soil is reported
	Relação da matéria orgânica no solo	1,1E-01		
	Matéria orgânica no solo superficial usado	1,1E+03	kg/ha/ano	
	Teor de água na matéria orgânica	7,0E-01		
	Matéria orgânica seca perdida com erosão	3,4E+02	KgDW/ha/ano	
	Teor de energia da matéria orgânica seca	5,4E+03	Kcal/kgDW	Valor médio
	Energia = (kgDW/ha/a)*(5400 Kcal/kgDW)*(4186 J/Kcal)			
	Energy loss	7,6E+09	J/ha/yr	
	Fator de conversão	7,3E+05		
Transformidade	1,2E+05	sej/J	Brown e Ulgiati, 2004	

Água Banho imersão	Pecuária			2019
	Quantidade anual	7,50E-04	litros/m ² /ano	
	Área	1,00E+04	m ²	
	Densidade da água	1,00E+00	kg/l	
	Energia Livre Gibbs (ELG)	5,00E+03	J/kg	
	Fator de conversão	área*dens água*ELG		
	Valor calculado (conversão)	5,00E+07	J/ano	
	Transformidade	4,11E+04	sej/J	Comar, 2000
Transformidade atualizada	6,90E+04	sej/J		
Água bebida	Pecuária			2019
	Quantidade anual	1,93E+00	litros/m ² /ano	
	Área	1,00E+04	m ²	
	Densidade da água	1,00E+00	kg/l	
	Energia Livre Gibbs (ELG)	5,00E+03	J/kg	
	Fator de conversão	área*dens água*ELG		
	Valor calculado (conversão)	5,00E+07	J/ano	
	Transformidade	4,11E+04	sej/J	Comar, 2000
Transformidade atualizada	6,90E+04	sej/J		
Combustível Petróleo	Pecuária			2019
	Volume total	2,71E+00	L/ha	
	Densidade do diesel	8,40E-01	kg/l	(Coppens, 2003)
	Massa usada para máq. agrícolas	2,28E+00	kg/ha	
	Maior valor de aquecimento	4,45E+07	J/kg	(Ellington et al, 1993) p. 408
	Demanda total de energia	1,01E+08	J/ha	
	Transformidade	1,11E+05	sej/J	Brown e Ulgiati, 2004
	Transformidade atualizada	1,86E+05	sej/J	
Energia Elétrica	Pecuária			2019
	Consumo anual	4,88E+00	Kwh/ha/ano	
	Fator de conversão	3,60E+06	J/kWh	
	Valor calculado	1,76E+07	J	
	Transformidade	1,59E+05	sej/J	
Transformidade atualizada	2,67E+05	sej/J		
M.O Pecuária	Pecuária			2019
	M.O Horas/hectare/ano	5,81E+00	M.O Horas/ha/ano	
	Valor (R\$) salarial por Hora	8,28E+00	R\$/hora	
	Ciclo	3,65E+02	Dias	
	Valor/ha/ciclo	4,82E+01	R\$/ha	
	Cotação dólar (jan 2021)	5,31E+00	R\$/US\$	
	Valor/ha/ciclo	9,08E+00	US\$/ha	
	emdolar (transformidade)	4,52E+12	sej/US\$	
Prod. Pecuária	Pecuária			2019
	Total produzido/ha	1,07E+02	kgPv/ha/ano	
	Poder calorífico	2,62E+03	kcal/kg	http://submission.scielo.br/index.php/cr/article/viewFile/2903/1435
	Conversão	4,19E+03	J/kcal	
	Valor calculado	1,10E+07	J	
	Transformidade	7,78E+04	sej/J	[Ulgiati, 1993, 187-215]
	Transformidade atualizada	1,31E+05	sej/J	
Energia de Produto	1,17E+09	J/ano		
Vacinas	Pecuária			2019
	Transformidade	1,48E+10	Sej/g	Castellini et al 2006
Trat. Veterinários	Pecuária			2019
	Transformidade	2,45E-01	Sej/Kg	Vigne et al. (2013)
Sal Mineral nutritional blocks (mub)	Pecuária			2019
	Transformidade	7,60E+08	Sej/g	Reis.et.al.2021.
nutritional blocks (mub)	Pecuária			2019
	Transformidade	1,82E+09	Sej/g	Alfaro-Arguello et al. (2010)

Água irrigação	Arroz			2019
	Uso de água anual	1,10E+03	litros/m ² /ano	
	Área	1,00E+04	m ²	
	Densidade da água	1,00E+00	kg/l	
	Energia Livre Gibbs (ELG)	5,00E+03	J/kg	
	Fator de conversão	área*dens água*ELG		
	Valor calculado (conversão)	5,00E+07	J/ano	
	Transformidade	4,11E+04	sej/J	Comar, 2000
Transformidade atualizada	6,90E+04	sej/J		
Água Pulverização	Arroz			2019
	Uso de água anual	2,70E-02	litros/m ² /ano	
	Área	1,00E+04	m ²	
	Densidade da água	1,00E+00	kg/l	
	Energia Livre Gibbs (ELG)	5,00E+03	J/kg	
	Fator de conversão	área*dens água*ELG		
	Valor calculado (conversão)	5,00E+07	J/ano	
	Transformidade	4,11E+04	sej/J	Comar, 2000
Transformidade atualizada	6,90E+04	sej/J		
Combustível Petróleo (diesel lavoura)	Arroz			2019
	Volume total	8,88E+01	L/ha	
	Densidade do diesel	8,40E-01	kg/l	(Coppens, 2003)
	Massa para máq. agrícolas	7,46E+01	kg/ha	
	Maior valor de aquecimento	4,45E+07	J/kg	(Ellington et al., 1993) p. 408
	Demanda total de energia	3,32E+09	J/ha	
	Transformidade	1,11E+05	sej/J	Brown e Ulgiati, 2004
	Transformidade atualizada	1,86E+05	sej/J	
Combustível Petróleo (Aviação)	Arroz			2019
	Volume total	8,68E+00	L/ha	
	Densidade	8,04E-01	kg/l	Petrobras (2021)
	Massa usada para Aviação	6,98E+00	kg/ha	
	Valor térmico da unidade (j/gr)	4,31E+07	J/kg	Zhong et al., 2018
	Valor térmico da unidade (j/Kg)	4,31E+04	J/Kg	
	Demanda total de energia	3,01E+08	J/ha	
	Transformidade	1,84E+05	sej/J	(Brown et al., 2011)
Energia Elétrica	Arroz			2019
	Consumo anual	3,75E+01	Kwh/ha/ano	
	Fator de conversão	3,60E+06	J/kWh	
	Valor calculado	1,35E+08	J	
	Transformidade	1,59E+05	sej/J	
	Transformidade atualizada	2,67E+05	sej/J	
Combustível Petróleo (diesel Pastagem Inv.)	Arroz			2019
	Volume total	3,50E+01	L/ha	
	Densidade do diesel	8,40E-01	kg/l	(Coppens, 2003)
	Massa para máq. agrícolas	2,94E+01	kg/ha	
	Maior valor de aquecimento	4,45E+07	J/kg	(Ellington et al., 1993) p. 408
	Demanda total de energia	1,31E+09	J/ha	
	Transformidade	1,11E+05	sej/J	Brown e Ulgiati, 2004
	Transformidade atualizada	1,86E+05	sej/J	
M.O Lavoura e pastagem inverno	Arroz			2019
	M.O Horas/hectare/ano	1,96E+01	M.O Horas/ha/ano	
	Valor (R\$) salarial por Hora	8,49E+00	R\$/hora	
	Ciclo	3,65E+02	Dias	
	Valor/ha/ciclo	1,66E+02	R\$/ha	
	Cotação dólar (jan 2021)	5,31E+00	R\$/US\$	
	Valor/ha/ciclo	3,14E+01	US\$/ha	
	emdolar (transformidade)	4,52E+12	sej/US\$	
Semente arroz	Arroz			2019
	Sementes	1,00E+02	Kg/ha	
	Valor calórico	3,10E+03	kcal/kg	http://submission.scielo.br/index.php/cr/article/viewFile/2903/1435
	Total calculado	3,10E+05	Kcal/ha	
	Fator de conversão	4,19E+03	J/kcal	
	Valor calculado	1,30E+09	J	
	Transformidade	7,78E+04	sej/J	[Ulgiati, 1993, 187-215]
	Transformidade atualizada	1,31E+05	sej/J	
Semente azevém	Arroz			2019
	Sementes	3,00E+01	Kg/ha	
	Valor calórico	2,17E+03	kcal/kg	http://www.veterinaria.org/revistas/redvet/n010115/011501.pdf
	Total calculado	6,50E+04	Kcal/ha	
	Fator de conversão	4,19E+03	J/kcal	
	Valor calculado	2,72E+08	J	
	Transformidade	6,60E+04	sej/J	Odom, 1992
	Transformidade atualizada	1,11E+05	sej/J	
Fertilizante Nitrogenado	Transformidade	3,80E+09	sej/g	After Odum (1996)
	Transformidade atualizada	6,38E+09		
Fertilizante fosfatado	Transformidade	6,88E+09	sej/g	Bastianoni (1996)
	Transformidade atualizada	6,88E+09		
Fertilizante de Postássio	Transformidade	2,96E+09	sej/g	Bastianoni (1996)
	Transformidade atualizada	4,97E+09		http://www.unicamp.br/fea/ortega/curso/manual.htm

Herbicida	Transformidade	1,48E+13	sej/kg	Odum, 1996
	Transformidade atualizada	2,49E+13		
Fungicida	Transformidade	1,48E+13	sej/kg	Odum, 1996
	Transformidade atualizada	2,49E+13		
Inseticida	Transformidade	1,48E+13	sej/kg	Odum, 1996
	Transformidade atualizada	2,49E+13		
Produção Lavoura de Arroz	Arroz			2019
	Total produzido	9,00E+03	Kg/ha	
	Poder calorífico	3,10E+03	kcal/kg	http://submission.scielo.br/index.php/cr/article/viewFile/2903/1435
	Conversão	4,19E+03	J/kcal	
	Valor calculado	1,30E+07	J	
	Transformidade	7,78E+04	sej/J	[Ulgiati, 1993, 187-215]
	Transformidade atualizada	1,31E+05	sej/J	
Produção pecuária da Pastagem Inverno	Arroz-Pecuária (past. cultivadas)			2019
	Total produzido	7,00E+01	kgP/ha	
	Poder calorífico	2,62E+03	kcal/kg	http://submission.scielo.br/index.php/cr/article/viewFile/2903/1435
	Conversão	4,19E+03	J/kcal	
	Valor calculado	1,10E+07	J	
	Transformidade	7,78E+04	sej/J	[Ulgiati, 1993, 187-215]
	Transformidade atualizada	1,31E+05	sej/J	
Água Banho imersão	Pecuária			2019
	Quantidade anual	7,50E-04	litros/m ² /ano	
	Área	1,00E+04	m ²	
	Densidade da água	1,00E+00	kg/l	
	Energia Livre Gibbs (ELG)	5,00E+03	J/kg	
	Fator de conversão	área*dens água*ELG		
	Valor calculado (conversão)	5,00E+07	J/ano	
	Transformidade	4,11E+04	sej/J	Comar, 2000
Transformidade atualizada	6,90E+04	sej/J		
Água bebida	Pecuária			2019
	Quantidade anual	2,36E+00	litros/m ² /ano	
	Área	1,00E+04	m ²	
	Densidade da água	1,00E+00	kg/l	
	Energia Livre Gibbs (ELG)	5,00E+03	J/kg	
	Fator de conversão	área*dens água*ELG		
	Valor calculado (conversão)	5,00E+07	J/ano	
	Transformidade	4,11E+04	sej/J	Comar, 2000
Transformidade atualizada	6,90E+04	sej/J		
Combustível Petróleo	Pecuária			2019
	Volume total	2,53E-01	L/ha	
	Densidade do diesel	8,40E-01	kg/l	(Coppens, 2003)
	Massa para máq. agrícolas	2,13E-01	kg/ha	
	Maior valor de aquecimento	4,45E+07	J/kg	(Ellington et al, 1993) p. 408
	Demanda total de energia	9,46E+06	J/ha	
	Transformidade	1,11E+05	sej/J	Brown e Ulgiati, 2004
	Transformidade atualizada	1,86E+05	sej/J	
Energia Elétrica	Pecuária			2019
	Consumo anual	4,88E+00	Kwh/ha/ano	
	Fator de conversão	3,60E+06	J/kWh	
	Valor calculado	1,76E+07	J	
	Transformidade	1,59E+05	sej/J	
	Transformidade atualizada	2,67E+05	sej/J	
M.O Pecuária	Pecuária			2019
	M.O Horas/hectare/ano	2,72E+00	M.O Horas/ha/ano	
	Valor (R\$) salarial por Hora	8,28E+00	R\$/hora	
	Ciclo	3,65E+02	Dias	
	Valor/ha/ciclo	2,25E+01	R\$/ha	
	Cotação dólar (jan 2021)	5,31E+00	R\$/US\$	
	Valor/ha/ciclo	4,25E+00	US\$/ha	
	emdolar (transformidade)	4,52E+12	sej/US\$	
M.O especializada Pecuária	Pecuária			2019
	M.O Horas/hectare/ano	6,54E+00	M.O Horas/ha/ano	
	Valor (R\$) salarial por Hora	2,92E+01	R\$/hora	
	Ciclo	3,65E+02	Dias	
	Valor/ha/ciclo	1,91E+02	R\$/ha	
	Cotação dólar (jan 2021)	5,31E+00	R\$/US\$	
	Valor/ha/ciclo	3,60E+01	US\$/ha	
	emdolar (transformidade)	4,52E+12	sej/US\$	

		2019		
Prod. Pecuária	Pecuária			
	Total produzido	1,38E+02	KgPv/ha/ano	
	Poder calorífico	2,62E+03	kcal/kg	
	Conversão	4,19E+03	J/kcal	
	Valor calculado	1,10E+07	J	
	Transformidade	7,78E+04	sej/J	[Ulgiati, 1993, 187-215]
	Transformidade atualizada	1,31E+05	sej/J	
Água Pulverização	Soja			
	Uso de água anual	6,00E-02	litros/m ² /ano	
	Área	1,00E+04	m ²	
	Densidade da água	1,00E+00	kg/l	
	Energia Livre Gibbs (ELG)	5,00E+03	J/kg	
	Fator de conversão	área*dens água*ELG		
	Valor calculado (conversão)	5,00E+07	J/ano	
	Transformidade	4,11E+04	sej/J	Comar, 2000
Transformidade atualizada	6,90E+04	sej/J		
Combustível Petróleo (diesel lavoura)	Soja			
	Volume total	8,41E+01	L/ha	
	Densidade do diesel	8,40E-01	kg/l	(Coppens, 2003)
	Massa para máq. agrícolas	7,06E+01	kg/ha	
	Maior valor de aquecimento	4,45E+07	J/kg	(Ellington et al, 1993) p. 408
	Demanda total de energia	3,14E+09	J/ha	
	Transformidade	1,11E+05	sej/J	Brown e Ulgiati, 2004
Transformidade atualizada	1,86E+05	sej/J		
Combustível Petróleo (Aviação)	Soja			
	Volume total	0,00E+00	L/ha	
	Densidade	8,04E-01	kg/l	Petrobras (2021)
	Massa usada para Aviação	0,00E+00	kg/ha	
	Valor térmico da unidade (j/gr)	4,31E+04	J/kg	Zhong et al., 2018
	Valor térmico da unidade (j/Kg)	4,31E+07	J/Kg	
	Demanda total de energia	0,00E+00	J/ha	
Transformidade	1,84E+05	sej/J	(Brown et al., 2011)	
Energia Elétrica	Soja			
	Consumo anual	5,11E+00	Kwh/ha/ano	
	Fator de conversão	3,60E+06	J/kWh	
	Valor calculado	1,84E+07	J	
	Transformidade	1,59E+05	sej/J	
Transformidade atualizada	2,67E+05	sej/J		
Combustível Petróleo (diesel Pastagem Inv.)	Soja			
	Volume total	2,30E+01	L/ha	
	Densidade do diesel	8,40E-01	kg/l	(Coppens, 2003)
	Massa para máq. agrícolas	1,93E+01	kg/ha	
	Maior valor de aquecimento	4,45E+07	J/kg	(Ellington et al, 1993) p. 408
	Demanda total de energia	8,59E+08	J/ha	
	Transformidade	1,11E+05	sej/J	Brown e Ulgiati, 2004
Transformidade atualizada	1,86E+05	sej/J		
M.O Lavoura e pastagem inverno	Soja			
	M.O Horas/hectare/ano	1,96E+01	M.O Horas/ha/ano	
	Valor (R\$) salarial por Hora	8,54E+00	R\$/hora	
	Ciclo	3,65E+02	Dias	
	Valor/ha/ciclo	1,67E+02	R\$/ha	
	Cotação dólar (jan 2021)	5,31E+00	R\$/US\$	
	Valor/ha/ciclo emdolar (transformidade)	3,16E+01	US\$/ha	
emdolar (transformidade)	4,52E+12	sej/US\$		
M.O Especializada Lavoura	Soja			
	M.O Horas/hectare/ano	6,54E+00	M.O Horas/ha/ano	
	Valor (R\$) salarial por Hora	2,92E+01	R\$/hora	
	Ciclo	3,65E+02	Dias	
	Valor/ha/ciclo	1,91E+02	R\$/ha	
	Cotação dólar (jan 2021)	5,31E+00	R\$/US\$	
	Valor/ha/ciclo emdolar (transformidade)	3,60E+01	US\$/ha	
emdolar (transformidade)	4,52E+12	sej/US\$		
Semente Soja	Soja			
	Sementes	4,80E+01	Kg/ha	
	Valor calórico	4,52E+03	kcal/kg	
	Total calculado	2,17E+05	Kcal/ha	
	Fator de conversão	4,19E+03	J/kcal	
	Valor calculado	9,07E+08	J	
	Transformidade	3,32E+05	sej/J	[Ulgiati, 1993, 187-215]
	Transformidade atualizada	5,58E+05	sej/J	

Soja		2019		
Semente aveia	Sementes	5,00E+01	Kg/ha	
	Valor calórico	1,22E+07	J/kg	Zhao et al 2020
	Total calculado	6,10E+08	J/ha	
	Fator de conversão		J/kcal	
	Valor calculado	6,10E+08	J	
	Transformidade	6,60E+04	sej/J	Odum, 1992
	Transformidade atualizada	2,41E+04	sej/J	Zhao et al 2020
Soja		2019		
Semente azevém	Sementes	3,00E+01	Kg/ha	
	Valor calórico	2,17E+03	kcal/kg	
	Total calculado	6,50E+04	Kcal/ha	
	Fator de conversão	4,19E+03	J/kcal	
	Valor calculado	2,72E+08	J	
	Transformidade	6,60E+04	sej/J	Odum, 1992
	Transformidade atualizada	1,11E+05	sej/J	
Soja		2019		
Produção Lavoura de Soja	Total produzido	2,10E+03	Kg/ha	
	Poder calorífico	4,52E+03	kcal/kg	
	Conversão	4,19E+03	J/kcal	
	Valor calculado	1,89E+07	J	
	Transformidade	7,78E+04	sej/J	[Ulgiati, 1993, 187-215]
	Transformidade atualizada	1,31E+05	sej/J	
	Energia de Produto	3,97E+10	J/ano	
Soja-Pecuária (past. cultivadas)		2019		
Produção pecuária da Pastagem Inverno	Total produzido	1,48E+02	kgPv/ha/ano	
	Poder calorífico	2,62E+03	kcal/kg	
	Conversão	4,19E+03	J/kcal	
	Valor calculado	1,10E+07	J	
	Transformidade	7,78E+04	sej/J	[Ulgiati, 1993, 187-215]
	Transformidade atualizada	1,31E+05	sej/J	
	Energia de Produto	1,63E+09	J/ano	
Pecuária		2019		
Água Banho imersão	Quantidade anual	7,50E-04	litros/m²/ano	
	Area	1,00E+04	m²	
	Densidade da água	1,00E+00	kg/l	
	Energia Livre Gibbs (ELG)	5,00E+03	J/kg	
	Fator de conversão	área*dens água*ELG		
	Valor calculado (conversão)	5,00E+07	J/ano	
	Transformidade	4,11E+04	sej/J	Comar, 2000
	Transformidade atualizada	6,90E+04	sej/J	
Pecuária		2019		
Água bebida	Quantidade anual	2,75E+00	litros/m²/ano	
	Area	1,00E+04	m²	
	Densidade da água	1,00E+00	kg/l	
	Energia Livre Gibbs (ELG)	5,00E+03	J/kg	
	Fator de conversão	área*dens água*ELG		
	Valor calculado (conversão)	5,00E+07	J/ano	
	Transformidade	4,11E+04	sej/J	Comar, 2000
	Transformidade atualizada	6,90E+04	sej/J	
Pecuária		2019		
Combustível Petróleo	Volume total	2,70E-01	L/ha	
	Densidade do diesel	8,40E-01	kg/l	(Coppens, 2003)
	Massa para máq. agrícolas	2,27E-01	kg/ha	
	Maior valor de aquecimento	4,45E+07	J/kg	(Ellington et al, 1993) p. 408
	Demanda total de energia	1,01E+07	J/ha	
	Transformidade	1,11E+05	sej/J	Brown e Ulgiati, 2004
	Transformidade atualizada	1,86E+05	sej/J	
Pecuária		2019		
Energia Elétrica	Consumo anual	2,70E+00	Kwh/ha/ano	
	Fator de conversão	3,60E+06	J/kWh	
	Valor calculado	9,72E+06	J	
	Transformidade	1,59E+05	sej/J	
	Transformidade atualizada	2,67E+05	sej/J	
Pecuária		2019		
M.O Pecuária	M.O Horas/hectare/ano	3,00E+00	M.O Horas/ha/ano	
	Valor (R\$) salarial por Hora	8,28E+00	R\$/hora	
	Ciclo	3,65E+02	Dias	
	Valor/ha/ciclo	2,48E+01	R\$/ha	
	Cotação dólar (jan 2021)	5,31E+00	R\$/US\$	
	Valor/ha/ciclo	4,68E+00	US\$/ha	
	emdolar (transformidade)	4,52E+12	sej/US\$	

		2019		
M.O Especializada Pecuária	Pecuária			
	M.O Horas/hectare/ano	9,60E-01	M.O Horas/ha/ano	
	Valor (R\$) salarial por Hora	2,92E+01	R\$/hora	
	Ciclo	3,65E+02	Dias	
	Valor/ha/ciclo	2,80E+01	R\$/ha	
	Cotação dólar (jan 2021)	5,31E+00	R\$/US\$	
	emdolar (transformidade)	4,52E+12	sej/US\$	
Prod. Pecuária	Pecuária			
	Total produzido	1,31E+02	KgPv/ha/ano	
	Poder calorífico	2,62E+03	kcal/kg	http://submission.scielo.br/index.php/cr/article/viewFile/2903/1435
	Conversão	4,19E+03	J/kcal	
	Valor calculado	1,10E+07	J	
	Transformidade	7,78E+04	sej/J	[Ulgiati, 1993, 187-215]
	Transformidade atualizada	1,31E+05	sej/J	
Água Pulverização	Soja			
	Uso de água anual	5,00E-02	litros/m²/ano	
	Área	1,00E+04	m²	
	Densidade da água	1,00E+00	kg/l	
	Energia Livre Gibbs (ELG)	5,00E+03	J/kg	
	Fator de conversão	área*dens água*ELG		
	Valor calculado (conversão)	5,00E+07	J/ano	
Transformidade	4,11E+04	sej/J	Comar, 2000	
Transformidade atualizada	6,90E+04	sej/J		
Combustível Petróleo (diesel lavoura)	Soja			
	Volume total	7,50E+01	L/ha	
	Densidade do diesel	8,40E-01	kg/l	(Coppens, 2003)
	Massa para máq. agrícolas	6,30E+01	kg/ha	
	Maior valor de aquecimento	4,45E+07	J/kg	(Ellington et al, 1993) p. 408
	Demanda total de energia	2,80E+09	J/ha	
	Transformidade	1,11E+05	sej/J	Brown e Ulgiati, 2004
Transformidade atualizada	1,86E+05	sej/J		
Energia Elétrica	Soja			
	Consumo anual	1,52E+01	Kwh/ha/ano	
	Fator de conversão	3,60E+06	J/kWh	
	Valor calculado	5,45E+07	J	
	Transformidade	1,59E+05	sej/J	
Transformidade atualizada	2,67E+05	sej/J		
Combustível Petróleo (diesel Pastagem Inv.)	Soja			
	Volume total	2,30E+01	L/ha	
	Densidade do diesel	8,40E-01	kg/l	(Coppens, 2003)
	Massa para máq. agrícolas	1,93E+01	kg/ha	
	Maior valor de aquecimento	4,45E+07	J/kg	(Ellington et al, 1993) p. 408
	Demanda total de energia	8,59E+08	J/ha	
	Transformidade	1,11E+05	sej/J	Brown e Ulgiati, 2004
Transformidade atualizada	1,86E+05	sej/J		
M.O Especializada Lavoura	Soja			
	M.O Horas/hectare/ano	6,54E+00	M.O Horas/ha/ano	
	Valor (R\$) salarial por Hora	2,92E+01	R\$/hora	
	Ciclo	3,65E+02	Dias	
	Valor/ha/ciclo	1,91E+02	R\$/ha	
	Cotação dólar (jan 2021)	5,31E+00	R\$/US\$	
	emdolar (transformidade)	4,52E+12	sej/US\$	
M.O Lavoura e pastagem inverno	Soja			
	M.O Horas/hectare/ano	1,96E+01	M.O Horas/ha/ano	
	Valor (R\$) salarial por Hora	8,49E+00	R\$/hora	
	Ciclo	3,65E+02	Dias	
	Valor/ha/ciclo	1,67E+02	R\$/ha	
	Cotação dólar (jan 2021)	5,31E+00	R\$/US\$	
	emdolar (transformidade)	4,52E+12	sej/US\$	
Semente Soja	Soja			
	Sementes	4,20E+01	Kg/ha	
	Valor calórico	4,52E+03	kcal/kg	http://submission.scielo.br/index.php/cr/article/viewFile/2903/1435
	Total calculado	1,90E+05	Kcal/ha	
	Fator de conversão	4,19E+03	J/kcal	
	Valor calculado	7,94E+08	J	
	Transformidade	3,32E+05	sej/J	[Ulgiati, 1993, 187-215]
Transformidade atualizada	5,58E+05	sej/J		
Semente aveia	Soja			
	Sementes	5,00E+01	Kg/ha	
	Valor calórico	1,22E+07	J/kg	Zhao et al 2020
	Total calculado	6,10E+08	J/ha	
	Fator de conversão		J/kcal	
	Valor calculado	6,10E+08	J	
	Transformidade	6,60E+04	sej/J	Odum,1992
Transformidade atualizada	2,41E+04	sej/J	Zhao et al 2020	

Semente azevém	Soja	2019		
	Sementes	3,00E+01	Kg/ha	
	Valor calórico	2,17E+03	kcal/kg	http://www.veterinaria.org/revistas/redvet/n010115/011501.pdf
	Total calculado	6,50E+04	Kcal/ha	
	Fator de conversão	4,19E+03	J/kcal	
	Valor calculado	2,72E+08	J	
	Transformidade	6,60E+04	sej/J	Odum, 1992
	Transformidade atualizada	1,11E+05	sej/J	
Produção Lavoura de Soja	Soja	2019		
	Total produzido	2,70E+03	Kg/ha	
	Poder calorífico	4,52E+03	kcal/kg	http://submission.scielo.br/index.php/cr/article/viewFile/2903/1435
	Conversão	4,19E+03	J/kcal	
	Valor calculado	1,89E+07	J	
	Transformidade	7,78E+04	sej/J	[Ulgiati, 1993, 187-215]
	Transformidade atualizada	1,31E+05	sej/J	
	Energia de Produto	5,10E+10	J/ano	
Produção pecuária da Pastagem Inverno	Soja-Pecuária (past. cultivadas)	2019		
	Total produzido	1,48E+02	KgPv/ha/ano	
	Poder calorífico	2,62E+03	kcal/kg	http://submission.scielo.br/index.php/cr/article/viewFile/2903/1435
	Conversão	4,19E+03	J/kcal	
	Valor calculado	1,10E+07	J	
	Transformidade	7,78E+04	sej/J	[Ulgiati, 1993, 187-215]
	Transformidade atualizada	1,31E+05	sej/J	
	Energia de Produto	1,63E+09	J/ano	
Água bebida	Pecuária	2019		
	Quantidade anual	2,02E+00	L/m²/ano	
	Área	1,00E+04	m²	
	Densidade da água	1,00E+00	kg/l	
	Energia Livre Gibbs (ELG)	5,00E+03	J/kg	
	Fator de conversão	área*dens água*ELG		
	Valor calculado (conversão)	5,00E+07	J/ano	
Transformidade	4,11E+04	sej/J	Comar, 2000	
	Transformidade atualizada	6,90E+04	sej/J	
Combustível Petróleo	Pecuária	2019		
	Volume total	2,63E-01	L/ha	
	Densidade do diesel	8,40E-01	kg/l	(Coppens, 2003)
	Massa para máq. agrícolas	2,21E-01	kg/ha	
	Maior valor de aquecimento	4,45E+07	J/kg	(Ellington et al, 1993) p. 408
	Demanda total de energia	9,83E+06	J/ha	
	Transformidade	1,11E+05	sej/J	Brown e Ulgiati, 2004
	Transformidade atualizada	1,86E+05	sej/J	
Energia Elétrica	Pecuária	2019		
	Consumo anual	1,84E+00	Kwh/ha/ano	
	Fator de conversão	3,60E+06	J/kWh	
	Valor calculado	6,63E+06	J	
	Transformidade	1,59E+05	sej/J	
	Transformidade atualizada	2,67E+05	sej/J	
M.O Pecuária	Pecuária	2019		
	M.O Horas/hectare/ano	5,27E+00	M.O Hs/ha/ano	
	Valor (R\$) salarial por Hora	8,28E+00	R\$/hora	
	Ciclo	3,65E+02	Dias	
	Valor/ha/ciclo	4,36E+01	R\$/ha	
	Cotação dólar (jan 2021)	5,31E+00	R\$/US\$	
	Valor/ha/ciclo	8,22E+00	US\$/ha	
	emdolar (transformidade)	4,52E+12	sej/US\$	
Prod. Pecuária	Pecuária	2019		
	Total produzido	7,18E+01	KgPv/ha/ano	
	Poder calorífico	2,62E+03	kcal/kg	http://submission.scielo.br/index.php/cr/article/viewFile/2903/1435
	Conversão	4,19E+03	J/kcal	
	Valor calculado	1,10E+07	J	
	Transformidade	7,78E+04	sej/J	[Ulgiati, 1993, 187-215]
	Transformidade atualizada	1,31E+05	sej/J	
	Energia de Produto	7,88E+08	J/ano	
Água Pulverização	Soja	2019		
	Uso de água anual	6,00E-01	L/m²/ano	
	Área	1,00E+04	m²	
	Densidade da água	1,00E+00	kg/l	
	Energia Livre Gibbs (ELG)	5,00E+03	J/kg	
	Fator de conversão	área*dens água*ELG		
	Valor calculado (conversão)	5,00E+07	J/ano	
Transformidade	4,11E+04	sej/J	Comar, 2000	
	Transformidade atualizada	6,90E+04	sej/J	
Combustível Petróleo (diesel lavoura)	Soja	2019		
	Volume total	6,00E+01	L/ha	
	Densidade do diesel	8,40E-01	kg/l	(Coppens, 2003)
	Massa para máq. agrícolas	5,04E+01	kg/ha	
	Maior valor de aquecimento	4,45E+07	J/kg	(Ellington et al, 1993) p. 408
	Demanda total de energia	2,24E+09	J/ha	
	Transformidade	1,11E+05	sej/J	Brown e Ulgiati, 2004
	Transformidade atualizada	1,86E+05	sej/J	

Energia Elétrica	Soja	2019		
	Consumo anual	4,38E+00	Kwh/ha/ano	
	Fator de conversão	3,60E+06	J/kWh	
	Valor calculado	1,58E+07	J	
	Transformidade	1,59E+05	sej/J	
	Transformidade atualizada	2,67E+05	sej/J	
Combustível Petróleo (diesel)	Soja	2019		
	Volume total	1,70E+01	L/ha	
	Densidade do diesel	8,40E-01	kg/l	(Coppens, 2003)
	Massa para máq. agrícolas	1,43E+01	kg/ha	
	Maior valor de aquecimento	4,45E+07	J/kg	(Ellington et al, 1993) p. 408
Pastagem Inv.	Demanda total de energia	6,35E+08	J/ha	
	Transformidade	1,11E+05	sej/J	Brown e Ulgiati, 2004
	Transformidade atualizada	1,86E+05	sej/J	
M.O Lavoura e pastagem inverno	Soja	2019		
	M.O Horas/hectare/ano	6,67E+00	M.O Hs/ha/ano	
	Valor (R\$) salarial por Hora	8,49E+00	R\$/hora	
	Ciclo	3,65E+02	Dias	
	Valor/ha/ciclo	5,66E+01	R\$/ha	
	Cotação dólar (jan 2021)	5,31E+00	R\$/US\$	
	emdolar (transformidade)	4,52E+12	sej/US\$	
Semente soja	Soja	2019		
	Sementes	6,00E+01	Kg/ha	
	Valor calórico	4,52E+03	kcal/kg	http://submission.scielo.br/index.php/cr/article/viewFile/2903/1435
	Total calculado	2,71E+05	Kcal/ha	
	Fator de conversão	4,19E+03	J/kcal	
	Valor calculado	1,13E+09	J	
	Transformidade	3,32E+05	sej/J	[Ulgiati, 1993, 187-215]
	Transformidade atualizada	5,58E+05	sej/J	
Semente aveia	Soja	2019		
	Sementes	9,50E+01	Kg/ha	
	Valor calórico	1,22E+07	J/kg	Zhao et al 2020
	Total calculado	1,16E+09	J/ha	
	Fator de conversão		J/kcal	
	Valor calculado	1,16E+09	J	
	Transformidade	6,60E+04	sej/J	Odum,1992
	Transformidade atualizada	2,41E+04	sej/J	Zhao et al 2020
Semente azevém	Soja	2019		
	Sementes	9,50E+01	Kg/ha	
	Valor calórico	2,17E+03	kcal/kg	http://www.veterinaria.org/revistas/redvet/n010115/011501.pdf
	Total calculado	2,06E+05	Kcal/ha	
	Fator de conversão	4,19E+03	J/kcal	
	Valor calculado	8,61E+08	J	
	Transformidade	6,60E+04	sej/J	Odum,1992
	Transformidade atualizada	1,11E+05	sej/J	
Produção Lavoura de Soja	Soja	2019		
	Total produzido	3,12E+03	Kg/ha	
	Poder calorífico	4,52E+03	kcal/kg	http://submission.scielo.br/index.php/cr/article/viewFile/2903/1435
	Conversão	4,19E+03	J/kcal	
	Valor calculado	1,89E+07	J	
	Transformidade	7,78E+04	sej/J	[Ulgiati, 1993, 187-215]
	Transformidade atualizada	1,31E+05	sej/J	
	Energia de Produto	5,90E+10	J/ano	
Produção pecuária da Pastagem Inverno	Soja-Pecuária (past. cultivadas)	2019		
	Total produzido	1,00E+02	KgPv/ha/ano	
	Poder calorífico	2,62E+03	kcal/kg	http://submission.scielo.br/index.php/cr/article/viewFile/2903/1435
	Conversão	4,19E+03	J/kcal	
	Valor calculado	1,10E+07	J	
	Transformidade	7,78E+04	sej/J	[Ulgiati, 1993, 187-215]
	Transformidade atualizada	1,31E+05	sej/J	
	Energia de Produto	1,10E+09	J/ano	
Nitrogênio Atmosférico	Soja	2019		
	Nitrogênio fixado	1,15E+02	kg of N/ha/yr	Other estimates: 115 kg/ha/yr (Coppens, 2003)
	Transformidade	6,38E+12		Ortega et al., 2005
	Transformidade atualizada	1,07E+13		
Água Banho imersão	Pecuária	2019		
	Quantidade anual	1,87E-03	L/m²/ano	
	Area	1,00E+04	m²	
	Densidade da água	1,00E+00	kg/l	
	Energia Livre Gibbs (ELG)	5,00E+03	J/kg	
	Fator de conversão	área*dens água*ELG		
	Valor calculado (conversão)	5,00E+07	J/ano	
	Transformidade	4,11E+04	sej/J	Comar, 2000
	Transformidade atualizada	6,90E+04	sej/J	

		2019		
Água bebida	Pecuária			
	Quantidade anual	3,80E+00	L/m²/ano	
	Área	1,00E+04	m²	
	Densidade da água	1,00E+00	kg/l	
	Energia Livre Gibbs (ELG)	5,00E+03	J/kg	
	Fator de conversão	área*dens água*ELG		
	Valor calculado (conversão)	5,00E+07	J/ano	
	Transformidade	4,11E+04	sej/J	Comar, 2000
Transformidade atualizada	6,90E+04	sej/J		
Combustível Petróleo	Pecuária			
	Volume total	3,73E-01	L/ha	
	Densidade do diesel	8,40E-01	kg/l	(Coppens, 2003)
	Massa para máq. agrícolas	3,13E-01	kg/ha	
	Maior valor de aquecimento	4,45E+07	J/kg	(Ellington et al, 1993) p. 408
	Demanda total de energia	1,39E+07	J/ha	
	Transformidade	1,11E+05	sej/J	Brown e Ulgiati, 2004
	Transformidade atualizada	1,86E+05	sej/J	
Energia Elétrica	Pecuária			
	Consumo anual	9,33E+00	Kwh/ha/ano	
	Fator de conversão	3,60E+06	J/kWh	
	Valor calculado	3,36E+07	J	
	Transformidade	1,59E+05	sej/J	
Transformidade atualizada	2,67E+05	sej/J		
M.O Pecuária	Pecuária			
	M.O hs/ha/ano	5,54E+00	M.O hs/ha/ano	
	Valor (R\$) salarial por Hora	8,28E+00	R\$/hora	
	Ciclo	3,65E+02	Dias	
	Valor/ha/ciclo	4,59E+01	R\$/ha	
	Cotação dólar (jan 2021)	5,31E+00	R\$/US\$	
	Valor/ha/ciclo	8,64E+00	US\$/ha	
	emdolar (transformidade)	4,52E+12	sej/US\$	
M.O especializada Pecuária	Pecuária			
	M.O hs/ha/ano	6,83E-03	M.O hs/ha/ano	
	Valor (R\$) salarial por Hora	2,92E+01	R\$/hora	
	Ciclo	3,65E+02	Dias	
	Valor/ha/ciclo	1,99E-01	R\$/ha	
	Cotação dólar (jan 2021)	5,31E+00	R\$/US\$	
	Valor/ha/ciclo	3,76E-02	US\$/ha	
	emdolar (transformidade)	4,52E+12	sej/US\$	
Prod. Pecuária	Pecuária			
	Total produzido	6,22E+01	kgPv/ha	
	Poder calorífico	2,62E+03	kcal/kg	http://submission.scielo.br/index.php/cr/article/viewFile/2903/1435
	Conversão	4,19E+03	J/kcal	
	Valor calculado	1,10E+07	J	
	Transformidade	7,78E+04	sej/J	[Ulgiati, 1993, 187-215]
	Transformidade atualizada	1,31E+05	sej/J	
	Energia de Produto	6,83E+08	J/ano	
Água Pulverização	Soja			
	Uso de água anual	5,00E-02	L/m²/ano	www.inmet.gov.br
	Área	1,00E+04	m²	
	Densidade da água	1,00E+00	kg/l	
	Energia Livre Gibbs (ELG)	5,00E+03	J/kg	
	Fator de conversão	área*dens água*ELG		
	Valor calculado (conversão)	5,00E+07	J/ano	
	Transformidade	4,11E+04	sej/J	Comar, 2000
Transformidade atualizada	6,90E+04	sej/J		
Combustível Petróleo (diesel lavoura)	Soja			
	Volume total	5,00E+01	L/ha	
	Densidade do diesel	8,40E-01	kg/l	(Coppens, 2003)
	Massa para máq. agrícolas	4,20E+01	kg/ha	
	Maior valor de aquecimento	4,45E+07	J/kg	(Ellington et al, 1993) p. 408
	Demanda total de energia	1,87E+09	J/ha	
	Transformidade	1,11E+05	sej/J	Brown e Ulgiati, 2004
	Transformidade atualizada	1,86E+05	sej/J	
Combustível Petróleo (diesel Pastagem Inv.)	Soja			
	Volume total	1,20E+01	L/ha	
	Densidade do diesel	8,40E-01	kg/l	(Coppens, 2003)
	Massa para máq. agrícolas	1,01E+01	kg/ha	
	Maior valor de aquecimento	4,45E+07	J/kg	(Ellington et al, 1993) p. 408
	Demanda total de energia	4,48E+08	J/ha	
	Transformidade	1,11E+05	sej/J	Brown e Ulgiati, 2004
	Transformidade atualizada	1,86E+05	sej/J	
Combustível Petróleo (diesel Pastagem Inv.)	Soja			
	Volume total	1,20E+01	L/ha	
	Densidade do diesel	8,40E-01	kg/l	(Coppens, 2003)
	Massa para máq. agrícolas	1,01E+01	kg/ha	
	Maior valor de aquecimento	4,45E+07	J/kg	(Ellington et al, 1993) p. 408
	Demanda total de energia	4,48E+08	J/ha	
	Transformidade	1,11E+05	sej/J	Brown e Ulgiati, 2004
	Transformidade atualizada	1,86E+05	sej/J	

M.O Lavoura e pastagem inverno	Soja	2019		
	M.O hs/ha/ano	1,47E+01	M.O hs/ha/ano	
	Valor (R\$) salarial por Hora	8,49E+00	R\$/hora	
	Ciclo	3,65E+02	Dias	
	Valor/ha/ciclo	1,24E+02	R\$/ha	
	Cotação dólar (jan 2021)	5,31E+00	R\$/US\$	
	em dolar (transformidade)	4,52E+12	sej/US\$	
Semente Soja	soja	2019		
	Sementes	5,80E+01	Kg/ha	
	Valor calórico	4,52E+03	kcal/kg	http://submission.scielo.br/index.php/cr/article/viewFile/2903/1435
	Total calculado	2,62E+05	Kcal/ha	
	Fator de conversão	4,19E+03	J/kcal	
	Valor calculado	1,10E+09	J	
	Transformidade	3,32E+05	sej/J	[Ulgiati, 1993, 187-215]
Transformidade atualizada	5,58E+05	sej/J		
Semente aveia	Soja	2019		
	Sementes	1,20E+02	Kg/ha	
	Valor calórico	1,22E+07	J/kg	Zhao et al 2020
	Total calculado	1,46E+09	J/ha	
	Fator de conversão		J/kcal	
	Valor calculado	1,46E+09	J	
	Transformidade	6,60E+04	sej/J	Odum, 1992
Transformidade atualizada	2,41E+04	sej/J	Zhao et al 2020	
Calcário	Transformidade	1,68E+12	sej/kg	Odum, 1996
	Transformidade atualizada	2,82E+12	sej/kg	
Produção Lavoura de Soja	Soja	2019		
	Total produzido	1,74E+03	Kg/ha	
	Poder calorífico	4,52E+03	kcal/kg	http://submission.scielo.br/index.php/cr/article/viewFile/2903/1435
	Conversão	4,19E+03	J/kcal	
	Valor calculado	1,89E+07	J	
	Transformidade	7,78E+04	sej/J	[Ulgiati, 1993, 187-215]
Transformidade atualizada	1,31E+05	sej/J		
Água Banho imersão	Pecuária	2019		
	Quantidade anual	2,28E-02	L/m²/ano	www.inmet.gov.br
	Área	1,00E+04	m²	
	Densidade da água	1,00E+00	kg/l	
	Energia Livre Gibbs (ELG)	5,00E+03	J/kg	
	Fator de conversão	área*dens água*ELG		
	Valor calculado (conversão)	5,00E+07	J/ano	
	Transformidade	4,11E+04	sej/J	Comar, 2000
Transformidade atualizada	6,90E+04	sej/J		
Água bebida	Pecuária	2019		
	Quantidade anual	3,04E+00	L/m²/ano	www.inmet.gov.br
	Área	1,00E+04	m²	
	Densidade da água	1,00E+00	kg/l	
	Energia Livre Gibbs (ELG)	5,00E+03	J/kg	
	Fator de conversão	área*dens água*ELG		
	Valor calculado (conversão)	5,00E+07	J/ano	
	Transformidade	4,11E+04	sej/J	Comar, 2000
Transformidade atualizada	6,90E+04	sej/J		
Combustível Petróleo	Pecuária	2019		
	Volume total	1,90E+00	L/ha	
	Densidade do diesel	8,40E-01	kg/l	(Coppens, 2003)
	Massa para máq. agrícolas	1,60E+00	kg/ha	
	Maior valor de aquecimento	4,45E+07	J/kg	(Ellington et al, 1993) p. 408
	Demanda total de energia	7,11E+07	J/ha	
	Transformidade	1,11E+05	sej/J	Brown e Ulgiati, 2004
Transformidade atualizada	1,86E+05	sej/J		
Energia Elétrica	Pecuária	2019		
	Consumo anual	5,00E+01	kWh/ha/ano	
	Fator de conversão	3,60E+06	J/kWh	
	Valor calculado	1,80E+08	J	
	Transformidade	1,59E+05	sej/J	
Transformidade atualizada	2,67E+05	sej/J		
M.O Pecuária	Pecuária	2019		
	M.O Horas/hectare/ano	1,94E+01	M.O hs/ha/ano	
	Valor (R\$) salarial por Hora	8,28E+00	R\$/hora	
	Ciclo	3,65E+02	Dias	
	Valor/ha/ciclo	1,61E+02	R\$/ha	
	Cotação dólar (jan 2021)	5,31E+00	R\$/US\$	
	Valor/ha/ciclo	3,03E+01	US\$/ha	
	em dolar (transformidade)	4,52E+12	sej/US\$	

Prod. Pecuária	Pecuária		2019	
	Total produzido	9,38E+01	kgPv/ha	
	Poder calorífico	2,62E+03	kcal/kg	http://submission.scielo.br/index.php/cr/article/viewFile/2903/1435
	Conversão	4,19E+03	J/kcal	
	Valor calculado	1,10E+07	J	
	Transformidade	7,78E+04	sej/J	[Ulgiati, 1993, 187-215]
	Transformidade atualizada	1,31E+05	sej/J	
Água irrigação	Arroz		2019	
	Uso de água anual	1,10E+03	L/m ² /ano	www.inmet.gov.br
	Área	1,00E+04	m ²	
	Densidade da água	1,00E+00	kg/l	
	Energia Livre Gibbs (ELG)	5,00E+03	J/kg	
	Fator de conversão	área*dens água*ELG		
	Valor calculado (conversão)	5,00E+07	J/ano	
Transformidade	4,11E+04	sej/J	Comar, 2000	
Transformidade atualizada	6,90E+04	sej/J		
Água Pulverização	Arroz		2019	
	Uso de água anual	3,00E-02	L/m ² /ano	www.inmet.gov.br
	Área	1,00E+04	m ²	
	Densidade da água	1,00E+00	kg/l	
	Energia Livre Gibbs (ELG)	5,00E+03	J/kg	
	Fator de conversão	área*dens água*ELG		
	Valor calculado (conversão)	5,00E+07	J/ano	
Transformidade	4,11E+04	sej/J	Comar, 2000	
Transformidade atualizada	6,90E+04	sej/J		
Combustível Petróleo (diesel lavoura)	Arroz		2019	
	Volume total	2,40E+02	L/ha	
	Densidade do diesel	8,40E-01	kg/l	(Coppens, 2003)
	Massa para máq. agrícolas	2,02E+02	kg/ha	
	Maior valor de aquecimento	4,45E+07	J/kg	(Ellington et al, 1993) p. 408
	Demanda total de energia	8,96E+09	J/ha	
	Transformidade	1,11E+05	sej/J	Brown e Ulgiati, 2004
Transformidade atualizada	1,86E+05	sej/J		
Energia Elétrica	Arroz		2019	
	Consumo anual	1,01E+02	Kwh/ha/ano	
	Fator de conversão	3,60E+06	J/kWh	
	Valor calculado	3,65E+08	J	
	Transformidade	1,59E+05	sej/J	
Transformidade atualizada	2,67E+05	sej/J		
M.O Lavoura	Arroz		2019	
	M.O Horas/hectare/ano	2,88E+01	M.O hs/ha/ano	
	Valor (R\$) salarial por Hora	8,49E+00	R\$/hora	
	Ciclo	3,65E+02	Dias	
	Valor/ha/ciclo	2,45E+02	R\$/ha	
	Cotação dólar (jan 2021)	5,31E+00	R\$/US\$	
	Valor/ha/ciclo em dólar (transformidade)	4,61E+01	US\$/ha	arquivo Camand - ver referencia
Semente arroz	Arroz		2019	
	Sementes	1,00E+02	Kg/ha	
	Valor calórico	3,10E+03	kcal/kg	http://submission.scielo.br/index.php/cr/article/viewFile/2903/1435
	Total calculado	3,10E+05	Kcal/ha	
	Fator de conversão	4,19E+03	J/kcal	
	Valor calculado	1,30E+09	J	
	Transformidade	7,78E+04	sej/J	[Ulgiati, 1993, 187-215]
Transformidade atualizada	1,31E+05	sej/J		
Produção Lavoura de Arroz	Arroz		2019	
	Total produzido	1,03E+04	Kg/ha	
	Poder calorífico	3,10E+03	kcal/kg	http://submission.scielo.br/index.php/cr/article/viewFile/2903/1435
	Conversão	4,19E+03	J/kcal	
	Valor calculado	1,30E+09	J	
	Transformidade	7,78E+04	sej/J	[Ulgiati, 1993, 187-215]
	Transformidade atualizada	1,31E+05	sej/J	
Água bebida	Pecuária		2019	
	Quantidade anual	2,41E+00	L/m ² /ano	www.inmet.gov.br
	Área	1,00E+04	m ²	
	Densidade da água	1,00E+00	kg/l	
	Energia Livre Gibbs (ELG)	5,00E+03	J/kg	
	Fator de conversão	área*dens água*ELG		
	Valor calculado (conversão)	5,00E+07	J/ano	
Transformidade	4,11E+04	sej/J	Comar, 2000	
Transformidade atualizada	6,90E+04	sej/J		

		2019		
Combustível Petróleo	Pecuária			
	Volume total	6,00E+00	L/ha	
	Densidade do diesel	8,40E-01	kg/l	(Coppens, 2003)
	Massa para máq. agrícolas	5,04E+00	kg/ha	
	Maior valor de aquecimento	4,45E+07	J/kg	(Ellington et al, 1993) p. 408
	Demanda total de energia	2,24E+08	J/ha	
	Transformidade	1,11E+05	sej/J	Brown e Ulgiati, 2004
	Transformidade atualizada	1,86E+05	sej/J	
Energia Elétrica	Pecuária			
	Consumo anual	2,66E+01	Kwh/ha/ano	
	Fator de conversão	3,60E+06	J/kWh	
	Valor calculado	9,56E+07	J	
	Transformidade	1,59E+05	sej/J	
	Transformidade atualizada	2,67E+05	sej/J	
M.O Pecuária	Pecuária			
	M.O Horas/hectare/ano	9,17E+00	M.O hs/ha/ano	
	Valor (R\$) salarial por Hora	8,28E+00	R\$/hora	
	Ciclo	3,65E+02	Dias	
	Valor/ha/ciclo	7,59E+01	R\$/ha	
	Cotação dólar (jan 2021)	5,31E+00	R\$/US\$	
	Valor/ha/ciclo	1,43E+01	US\$/ha	
	emdolar (transformidade)	4,52E+12	sej/US\$	
M.O especializada Pecuária	Pecuária			
	M.O Horas/hectare/ano	9,17E+00	M.O hs/ha/ano	
	Valor (R\$) salarial por Hora	2,92E+01	R\$/hora	
	Ciclo	3,65E+02	Dias	
	Valor/ha/ciclo	2,68E+02	R\$/ha	
	Cotação dólar (jan 2021)	5,31E+00	R\$/US\$	
	Valor/ha/ciclo	5,04E+01	US\$/ha	
	emdolar (transformidade)	4,52E+12	sej/US\$	
Prod. Pecuária	Pecuária			
	Total produzido	1,21E+02	KgPv/ha/ano	
	Poder calorífico	2,62E+03	kcal/kg	http://submission.scielo.br/index.php/cr/article/viewFile/2903/1435
	Conversão	4,19E+03	J/kcal	
	Valor calculado	1,10E+07	J	
	Transformidade	7,78E+04	sej/J	[Ulgiati, 1993, 187-215]
		Transformidade atualizada	1,31E+05	sej/J
	Energia de Produto	1,32E+09	J/ano	
Água Pulverização	Soja			
	Uso de água anual	8,00E-02	L/m²/ano	www.inmet.gov.br
	Área	1,00E+04	m²	
	Densidade da água	1,00E+00	kg/l	
	Energia Livre Gibbs (ELG)	5,00E+03	J/kg	
	Fator de conversão	área*dens água*ELG		
	Valor calculado (conversão)	5,00E+07	J/ano	
	Transformidade	4,11E+04	sej/J	Comar, 2000
	Transformidade atualizada	6,90E+04	sej/J	
Combustível Petróleo (diesel lavoura)	Soja			
	Volume total	3,85E+01	L/ha	
	Densidade do diesel	8,40E-01	kg/l	(Coppens, 2003)
	Massa para máq. agrícolas	3,23E+01	kg/ha	
	Maior valor de aquecimento	4,45E+07	J/kg	(Ellington et al, 1993) p. 408
	Demanda total de energia	1,44E+09	J/ha	
	Transformidade	1,11E+05	sej/J	Brown e Ulgiati, 2004
	Transformidade atualizada	1,86E+05	sej/J	
Energia Elétrica	Pecuária			
	Consumo anual	4,20E+00	kWh/ha/ano	
	Fator de conversão	3,60E+06	J/kWh	
	Valor calculado	1,51E+07	J	
	Transformidade	1,59E+05	sej/J	
	Transformidade atualizada	2,67E+05	sej/J	
Combustível Petróleo (diesel Pastagem Inv.)	Soja			
	Volume total	7,00E+00	L/ha	
	Densidade do diesel	8,40E-01	kg/l	(Coppens, 2003)
	Massa para máq. agrícolas	5,88E+00	kg/ha	
	Maior valor de aquecimento	4,45E+07	J/kg	(Ellington et al, 1993) p. 408
	Demanda total de energia	2,61E+08	J/ha	
	Transformidade	1,11E+05	sej/J	Brown e Ulgiati, 2004
	Transformidade atualizada	1,86E+05	sej/J	

M.O Lavoura e pastagem inverno	Soja	2019		
	M.O Horas/hectare/ano	7,32E+00	M.O hs/ha/ano	
	Valor (R\$) salarial por Hora	8,54E+00	R\$/hora	
	Ciclo	3,65E+02	Dias	
	Valor/ha/ciclo	6,25E+01	R\$/ha	
	Cotação dólar (jan 2021)	5,31E+00	R\$/US\$	
	emdolar (transformidade)	4,52E+12	sej/US\$	
M.O Especializ. Lavoura e pastagem inverno	Soja	2019		
	M.O Horas/hectare/ano	7,04E-01	M.O hs/ha/ano	
	Valor (R\$) salarial por Hora	2,92E+01	R\$/hora	
	Ciclo	3,65E+02	Dias	
	Valor/ha/ciclo	2,06E+01	R\$/ha	
	Cotação dólar (jan 2021)	5,31E+00	R\$/US\$	
	emdolar (transformidade)	4,52E+12	sej/US\$	
Semente Soja	soja	2019		
	Sementes	6,50E+01	Kg/ha	
	Valor calórico	4,52E+03	kcal/kg	http://submission.scielo.br/index.php/cr/article/viewFile/2903/1435
	Total calculado	2,94E+05	Kcal/ha	
	Fator de conversão	4,19E+03	J/kcal	
	Valor calculado	1,23E+09	J	
	Transformidade	3,32E+05	sej/J	[Ulgiati, 1993, 187-215]
	Transformidade atualizada	5,58E+05	sej/J	
Semente aveia	Soja	2019		
	Sementes	7,00E+01	Kg/ha	
	Valor calórico	1,22E+07	J/kg	Zhao et al 2020
	Total calculado	8,54E+08	J/ha	
	Fator de conversão		J/kcal	
	Valor calculado	8,54E+08	J	
	Transformidade	6,60E+04	sej/J	Odum, 1992
Transformidade atualizada	2,41E+04	sej/J	Zhao et al 2020	
Semente Azevém	Soja	2019		
	Sementes	3,00E+01	Kg/ha	
	Valor calórico	2,17E+03	kcal/kg	http://www.veterinaria.org/revistas/redvet/n010115/011501.pdf
	Total calculado	6,50E+04	Kcal/ha	
	Fator de conversão	4,19E+03	J/kcal	
	Valor calculado	2,72E+08	J	
	Transformidade	6,60E+04	sej/J	Odum, 1992
Transformidade atualizada	1,11E+05	sej/J		
Produção Lavoura de Soja	Soja	2019		
	Total produzido	4,30E+03	Kg/ha	
	Poder calorífico	4,52E+03	kcal/kg	http://submission.scielo.br/index.php/cr/article/viewFile/2903/1435
	Conversão	4,19E+03	J/kcal	
	Valor calculado	1,89E+07	J	
	Transformidade	7,78E+04	sej/J	[Ulgiati, 1993, 187-215]
	Transformidade atualizada	1,31E+05	sej/J	
Energia de Produto	8,13E+10	J/ano		
Produção pecuária da Pastagem Inverno	Soja-Pecuária (past. cultivadas)	2019		
	Total produzido	1,02E+02	kgPv/ha	
	Poder calorífico	2,47E+02	kcal/kg	http://submission.scielo.br/index.php/cr/article/viewFile/2903/1435
	Conversão	4,19E+03	J/kcal	
	Valor calculado	1,03E+06	J	
	Transformidade	7,78E+04	sej/J	[Ulgiati, 1993, 187-215]
	Transformidade atualizada	1,31E+05	sej/J	
Energia de Produto	1,05E+08	J/ano		
Água Banho imersão	Pecuária	2019		
	Quantidade anual	3,75E-03	L/m²/ano	www.inmet.gov.br
	Area	1,00E+04	m²	
	Densidade da água	1,00E+00	kg/l	
	Energia Livre Gibbs (ELG)	5,00E+03	J/kg	
	Fator de conversão	área*dens água*ELG		
	Valor calculado (conversão)	5,00E+07	J/ano	
Transformidade	4,11E+04	sej/J	Comar, 2000	
Transformidade atualizada	6,90E+04	sej/J		
Água bebida	Pecuária	2019		
	Quantidade anual	5,06E+00	L/m²/ano	www.inmet.gov.br
	Area	1,00E+04	m²	
	Densidade da água	1,00E+00	kg/l	
	Energia Livre Gibbs (ELG)	5,00E+03	J/kg	
	Fator de conversão	área*dens água*ELG		
	Valor calculado (conversão)	5,00E+07	J/ano	
Transformidade	4,11E+04	sej/J	Comar, 2000	
Transformidade atualizada	6,90E+04	sej/J		

Combustível Petróleo	Pecuária	2019		
	Volume total	1,50E+01	L/ha/ano	
	Densidade do diesel	8,40E-01	kg/l	(Coppens, 2003)
	Massa para máq. agrícolas	1,26E+01	kg/ha	
	Maior valor de aquecimento	4,45E+07	J/kg	(Ellington et al, 1993) p. 408
	Demanda total de energia	5,60E+08	J/ha	
	Transformidade	1,11E+05	sej/J	Brown e Ulgiati, 2004
	Transformidade atualizada	1,86E+05	sej/J	
Energia Elétrica	Pecuária	2019		
	Consumo anual	7,00E+00	Kwh/ha/ano	
	Fator de conversão	3,60E+06	J/kWh	
	Valor calculado	2,52E+07	J	
	Transformidade	1,59E+05	sej/J	
	Transformidade atualizada	2,67E+05	sej/J	
M.O Pecuária	Pecuária	2019		
	M.O Horas/hectare/ano	3,14E+00	M.O hs/ha/ano	
	Valor (R\$) salarial por Hora	8,49E+00	R\$/hora	
	Ciclo	3,65E+02	Dias	
	Valor/ha/ciclo	2,67E+01	R\$/ha	
	Cotação dólar (jan 2021)	5,31E+00	R\$/US\$	
	emdolar (transformidade)	4,52E+12	sej/US\$	
Prod. Pecuária	Pecuária	2019		
	Total produzido	1,68E+02	KgPv/ha/ano	
	Poder calorífico	2,62E+03	kcal/kg	http://submission.scielo.br/index.php/cr/article/viewFile/2903/143
	Conversão	4,19E+03	J/kcal	
	Valor calculado	1,10E+07	J	
	Transformidade	7,78E+04	sej/J	[Ulgiati, 1993, 187-215]
	Transformidade atualizada	1,31E+05	sej/J	
	Energia de Produto	1,85E+09	J/ano	
Água irrigação	Arroz	2019		
	Uso de água anual	1,10E+03	L/m ² /ano	www.inmet.gov.br
	Área	1,00E+04	m ²	
	Densidade da água	1,00E+00	kg/l	
	Energia Livre Gibbs (ELG)	5,00E+03	J/kg	
	Fator de conversão	área*dens água*ELG		
	Valor calculado (conversão)	5,00E+07	J/ano	
Transformidade	4,11E+04	sej/J	Comar, 2000	
	Transformidade atualizada	6,90E+04	sej/J	
Água Pulverização	Arroz	2019		
	Uso de água anual	7,30E-01	L/m ² /ano	www.inmet.gov.br
	Área	1,00E+04	m ²	
	Densidade da água	1,00E+00	kg/l	
	Energia Livre Gibbs (ELG)	5,00E+03	J/kg	
	Fator de conversão	área*dens água*ELG		
	Valor calculado (conversão)	5,00E+07	J/ano	
Transformidade	4,11E+04	sej/J	Comar, 2000	
	Transformidade atualizada	6,90E+04	sej/J	
Combustível Petróleo (diesel lavoura)	Arroz	2019		
	Volume total	3,32E+02	L/ha	
	Densidade do diesel	8,40E-01	kg/l	(Coppens, 2003)
	Massa para máq. agrícolas	2,79E+02	kg/ha	
	Maior valor de aquecimento	4,45E+07	J/kg	(Ellington et al, 1993) p. 408
	Demanda total de energia	1,24E+10	J/ha	
	Transformidade	1,11E+05	sej/J	Brown e Ulgiati, 2004
	Transformidade atualizada	1,86E+05	sej/J	
Combustível Petróleo (Aviação)	Arroz	2019		
	Volume total	7,30E+00	L/ha	
	Densidade	8,04E-01	kg/l	Petrobras (2021)
	Massa usada para Aviação	5,87E+00	kg/ha	
	Valor térmico da unidade (j/gr)	4,31E+04	J/kg	Zhong et al., 2018
	Valor térmico da unidade (j/Kg)	4,31E+07	J/Kg	
Demanda total de energia	2,53E+08	J/ha		
Transformidade	1,84E+05	sej/J	(Brown et al., 2011)	
Energia Elétrica	Arroz	2019		
	Consumo anual	1,02E+03	Kwh/ha/ano	
	Fator de conversão	3,60E+06	J/kWh	
	Valor calculado	3,67E+09	J	
	Transformidade	1,59E+05	sej/J	
	Transformidade atualizada	2,67E+05	sej/J	
M.O Lavoura	Arroz	2019		
	M.O Horas/hectare/ano	2,48E+01	M.O hs/ha/ano	
	Valor (R\$) salarial por Hora	8,54E+00	R\$/hora	
	Ciclo	3,65E+02	Dias	
	Valor/ha/ciclo	2,12E+02	R\$/ha	
	Cotação dólar (jan 2021)	5,31E+00	R\$/US\$	
	Valor/ha/ciclo	4,00E+01	US\$/ha	
	emdolar (transformidade)	4,52E+12	sej/US\$	

Arroz		2019		
Semente arroz	Sementes	7,20E+01	Kg/ha	
	Valor calórico	3,10E+03	kcal/kg	http://submission.scielo.br/index.php/cr/article
	Total calculado	2,23E+05	Kcal/ha	
	Fator de conversão	4,19E+03	J/kcal	
	Valor calculado	9,34E+08	J	
	Transformidade	7,78E+04	sej/J	[Ulgiati, 1993, 187-215]
Transformidade atualizada	1,31E+05	sej/J		
Arroz		2019		
Produção Lavoura de Arroz	Total produzido	1,13E+04	Kg/ha	
	Poder calorífico	3,10E+03	kcal/kg	
	Conversão	4,19E+03	J/kcal	
	Valor calculado	1,30E+07	J	
	Transformidade	7,78E+04	sej/J	[Ulgiati, 1993, 187-215]
	Transformidade atualizada	1,31E+05	sej/J	
Energia de Produto	1,46E+11	J/ano		
Valores dos salários				
Cargo	Carga horária/mensal	Salário médio mensal	Fonte	
Criação de Bovinos	188,32	R\$ 1.559,83	https://www.salario.com.br/profissao/trabalhador-rural-cbo-623110/porto-alegre-rs/	
Cultivo de arroz	188,32	R\$ 1.599,60	https://www.salario.com.br/profissao/trabalhador-rural-cbo-623110/porto-alegre-rs/	
Operador máquinas agric.	188,32	R\$ 1.608,83	https://bi.mte.gov.br/bgcaged/caged_estatistico_id/caged_estatistico_basico_tabela.php	
Carga horária anual	2071,52		https://bi.mte.gov.br/bgcaged/caged_estatistico_id/caged_estatistico_basico_tabela.php	
M. Obra Especializada	188,32	R\$ 5.500,00	https://bi.mte.gov.br/bgcaged/caged_estatistico_id/caged_estatistico_basico_tabela.php	
Cotação Real/dólar americano		R\$ 5,31	https://www.bcb.gov.br/estabilidadefinancieira/historicocotacoes	
Referências e Doses				
Descrição	Quantidades	Unidade		
Pulverização Aérea rendimento combustível	65	L/hora		
Pulverização Aérea rendimento área	45	Hectares/hora		
Pulverização Aérea consumo Combustível Avião	1,825	L/ha		
Funcionário Fixo Horas-homen/hectare/ano. Hh/ha/ano	1730	Horas/ha/ano		
Luz elétrica	0,400	R\$/kwh-Rural		
Fertilizantes Uréia percentual (% de N2)	45	% Nitrogênio		
Vacina Raiva	0,002	Anual		
Vacina clostridíose	0,003	Semestral		
Vacina Triplíce reprodutiva	0,005	L/cab/dose		
Vacina Febre Aftosa	0,002	L/cab/dose		
Vacina Leptospirose	0,002	L/cab/dose		
Sal Mineral	0,083	Kg/cab/dia/ Adultos		
Sal Mineral	0,040	Kg/cab/dia/ intermediári		
Ripercol®	0,001	L/10kg PV Ovinos		
Colosso Pour-on	0,01	L/100kg PV		
Fipronil	0,01	L/100kg PV		
Fluazuron	0,01	L/100kg PV		
Cipermetrina Pour-on 5% a 6%	0,01	L/100kg PV		
Suplemento concentrado protéico MUB®	0,39	Kg NNP/Kg Produto		
Suplemento concentrado protéico MUB®	0,46	Kg PB/Kg Produto		
Diazinon® Carga	2	L/ 2.000 Litros água		
Diazinon® Recarga (recarga cada 1000L -nível)	3	L/2.000 Litros água		
Palheta de semen bovino	0,0005	0,5 ml/dose		
Peso do cordeiro	4	Kg		
Area da Quadra de arroz no RS	1,74	ha		