

**UNIVERSIDADE FEDERAL DO RIO GRANDE DO SUL
FACULDADE DE AGRONOMIA
CURSO DE ZOOTECNIA**

Débora Rubin Machado

**PERFORMANCE GLOBAL DE SISTEMAS INTEGRADOS DE
PRODUÇÃO AGROPECUÁRIA EM TERRAS BAIXAS SOB O VIÉS DA
INTENSIFICAÇÃO SUSTENTÁVEL**

Porto Alegre, 2019.

DÉBORA RUBIN MACHADO

**PERFORMANCE GLOBAL DE SISTEMAS INTEGRADOS DE PRODUÇÃO
AGROPECUÁRIA EM TERRAS BAIXAS SOB O VIÉS DA
INTENSIFICAÇÃO SUSTENTÁVEL**

Trabalho de conclusão de curso apresentado
como requisito para obtenção do grau de
Zootecnista, Faculdade de Agronomia,
Universidade Federal do Rio Grande do Sul.

Orientador: Prof. Dr. Paulo César de Faccio
Carvalho

Co-orientador: Dsc. William de Souza Filho

DÉBORA RUBIN MACHADO

PERFORMANCE GLOBAL DE SISTEMAS INTEGRADOS DE PRODUÇÃO
AGROPECUÁRIA EM TERRAS BAIXAS SOB O VIÉS DA INTENSIFICAÇÃO
SUSTENTÁVEL

Trabalho de conclusão de curso apresentado como requisito para obtenção do grau de
Zootecnista, Faculdade de Agronomia, Universidade Federal do Rio Grande do Sul.

Data de aprovação: ____/____/____

Paulo César de Faccio Carvalho

Prof. DSc. UFRGS

Orientador

William de Souza Filho

DSc. em Zootecnia

Co-orientador

Edicarlos Damacena de Souza

Professor DSc - Universidade Federal do Mato Grosso

Membro da banca

Raquel Santiago Barro

Professora DSc. – Universidade Federal de Viçosa

Membro da banca

Porto Alegre

2019

AGRADECIMENTOS

À Deus pelo seu amor e misericórdia.

Ao meu filho, João Pedro, que é a força e minha motivação para tentar fazer do mundo um lugar melhor. Se um dia chegar a ler esse registro, será só mais um lugar escrito “Eu te amo”.

À minha família, pelo apoio incondicional ao longo dos anos. Principalmente a minha mãe, Márcia P. Rubin, por adiar tantos sonhos para que eu pudesse chegar até aqui.

Ao professor, Paulo César de Faccio Carvalho, pela orientação, paciência, ensinamentos e parcerias. Sempre serei grata pelas oportunidades que me proporciona.

Ao meu co-orientador e amigo, William Filho, pela paciência, conselhos, amizade e risadas. Obrigada por cada palavra, cada gesto de generosidade e me mostrar que trabalhos em grupo podem dar certo.

À amiga e “mãe”, Taíse Kunrath, pela amizade, acolhida e carinho durante todos os momentos que precisei.

Aos amigos Suéllen Viegas e Paulo Marsiaj. Vocês são incríveis, eu não poderia ter melhores amigos. Levo vocês sempre comigo.

Às amigas Ana Luiza, Juliana Dementschuk pelo apoio e risadas nos momentos em que estive com “meu cortisol elevado”.

Aos colegas Cindy, Douglas e Carol, pelo apoio e auxílio no último semestre. Obrigada pelos seminários que não precisei me preocupar e resumos antes da prova. Tamo junto.

Aos colegas do Grupo de Pesquisa em Ecologia do Pastejo, pelo companheirismo e momentos que foram determinantes para meu crescimento pessoal e profissional. Em especial Gleice, Jusiane e Pedro que me auxiliaram na construção deste trabalho.

Aos colegas do grupo GPSIPA por toda parceria e apoio para desenvolvimento do trabalho.

Aos colegas de curso, pelos bons momentos compartilhados ao longo destes seis anos.

Aos demais, mas não menos importantes, que de alguma forma contribuíram para que este caminho fosse percorrido da melhor forma, minha gratidão.

RESUMO

O aumento da intensificação agrícola contribui para o atual cenário das mudanças climáticas e aquecimento global. Os sistemas altamente especializados, como os sistemas convencionais de produção de arroz (*Oryza sativa*) contribuem com 20% das emissões de GEE no estado do Rio Grande do Sul, maior produtor do cereal no país. A adoção de sistemas integrados de produção agropecuária (SIPA) é uma via para que haja um aumento na produção de alimentos, sem expansão de área agrícola. A diversidade que os SIPA propõem através das rotações de culturas e consórcio entre plantas possui potencial de minimizar os efeitos das mudanças climáticas nos sistemas agroalimentares. O estudo teve como objetivo avaliar como fatores abióticos influenciam na produção de sistemas integrados de produção agropecuária com diferentes arranjos de diversidade espaço-temporal em terras baixas. O experimento de longa duração está localizado no município de Cristal/RS e conta com cinco diferentes arranjos de produção de arroz compostos por diferentes tipos de diversidade (espaço e temporal). Foram avaliados seis anos das seguintes variáveis: ganho por área, produção total de matéria seca e produtividade de grãos por área. Os valores produtivos foram convertidos em energia através dos coeficientes energéticos descrito na bibliografia para análise conjunta dos dados. Os dados climáticos de precipitação, temperaturas máxima, mínima e média e radiação, foram gerados através da série histórica de vinte e cinco anos do banco de dados das estações meteorológicas automática e convencional do município de Camaquã. A estabilidade produtiva foi calculada pelo método de Lehman & Tilman (2000). Nos sistemas 1 e 2, que apresentam a cultura de arroz com uma maior frequência, apresentou uma queda na produção de energia do sistema nos últimos anos. Os sistemas 3 e 4 possuem igual estabilidade, porém a variabilidade da produção do sistema 4 é 2,1 vezes menor quando comparada ao sistema 3. O sistema 5 foi o menos estável, porém apresentou tendência de aumento na energia produzida nos dois últimos anos. A temperatura máxima foi a variável mais explicativa para a produção dos sistemas, porém os cinco arranjos avaliados foram particularmente influenciados por outras variáveis abióticas, como temperatura média, mínima, precipitação e radiação. A adoção de SIPA é uma ferramenta estratégica para a intensificação sustentável, porém conhecer o comportamento e as interações das espécies escolhidas é imprescindível ocorra o aumento do sinergismo entre os componentes solo-planta-animal, possibilitando a minimização dos impactos gerados pelas mudanças climáticas e eventos extremos decorrentes do aquecimento global.

ABSTRACT

The agricultural intensification increase contributes for climate change and global warming. Highly specialized systems as conventional rice production (*Oryza sativa*) contribute with 20% of GHG emissions in Rio Grande do Sul state, largest cereal producer in Brazil. Integrated crop-livestock systems (ICLS) is a way to increase food production, without agricultural area expansion. The diversity production through crop rotations has the potential to minimize the effects of climate change on agricultural production systems. The objective of this study was to evaluate how abiotic factors influence the production of Integrated crop-livestock systems with different spatial-temporal diversity arrangements. The experiment is located in Cristal / RS, this experiment has five different rice production arrangements composed of different types of diversity (spatial and temporal). The variables evaluated were animal gain per area, dry matter yield and grain yield per area. The productive values were converted into energy through the energy coefficients described in the bibliography for joint analysis of the data. The climatic data of precipitation, maximum, minimum and average temperatures and radiation were generated through the historical series of twenty-five years of the database of automatic and conventional Camaquã meteorological stations. The productive stability was calculated by the method of Lehman & Tilman (2000). In 1 and 2 systems, had the higher rice crop frequency, it showed a decrease in the energy production of the system in recent years. The 3 and 4 systems have the same stability, but the variability of the production of system 4 is 2.1 times lower when compared to system 3. The 5 system was the least stable but showed a tendency to increase in energy produced in the last two years. The maximum temperature was the most explanatory variable for the production of the systems, but the five arrangements evaluated were particularly influenced by other abiotic variables, s as average, minimum temperature, precipitation and radiation. The ICLS is a strategic tool for sustainable intensification but knowing the behavior and interactions of the chosen species is essential to increase the synergism between the soil-plant-animal components, enabling the minimization of the impacts generated by climate change and events global warming.

LISTA DE ILUSTRAÇÕES

FIGURA 1. TEMPERATURA MÉDIA HISTÓRICA DE VINTE E CINCO ANOS (LINHA CONTÍNUA) E TEMPERATURA MÉDIA MENSAL (LINHA TRACEJADA) NO PERÍODO DE 2013 A MARÇO DE 2019, NO MUNICÍPIO DE CAMAQUÃ.	21
FIGURA 2. PRECIPITAÇÃO MÉDIA HISTÓRICA DE VINTE E CINCO ANOS (LINHA CONTÍNUA); TEMPERATURA MÉDIA MENSAL NO PERÍODO DE 2013 A MARÇO DE 2019 (LINHA TRACEJADA), NO MUNICÍPIO DE CAMAQUÃ.	21
FIGURA 3. RADIAÇÃO MÉDIA DIÁRIA NO PERÍODO DE 2013 A JANEIRO DE 2019, NO MUNICÍPIO DE CAMAQUÃ.	22
FIGURA 4. TEMPERATURA MÉDIA, MÍNIMA E MÁXIMA MENSAL DE 2013 A MARÇO DE 2019.	22
FIGURA 5. RANDOM FOREST DA ENERGIA PRODUZIDA (MJ.KG ⁻¹) NOS SISTEMAS DE CULTIVOS DE PRODUÇÃO ORIZÍCOLA NO PROTOCOLO EXPERIMENTAL SIPA TERRAS BAIXAS.	23
FIGURA 6. RANDOM FOREST PARA A ENERGIA PRODUZIDA (MJ.KG ⁻¹) EM CADA SISTEMA AVALIADO NO PROTOCOLO EXPERIMENTAL SIPA TERRAS BAIXAS.	23
FIGURA 7. ENERGIA PRODUZIDA (MJ.KG ⁻¹) NOS SISTEMAS COM MANEJO INTEGRADO NO PROTOCOLO EXPERIMENTAL SIPA TERRAS BAIXAS.	24

LISTA DE TABELAS

TABELA 1. SISTEMAS AVALIADOS NO PROTOCOLO DE LONGA DURAÇÃO SIPA TERRAS BAIXAS.....	16
TABELA 2. DIVERSIDADE E MOBILIZAÇÃO DO SOLO ESPAÇO-TEMPORAL E INTENSIDADE TEMPORAL DO ARROZ NO PROTOCOLO DE LONGA DURAÇÃO SIPA EM TERRAS BAIXAS.	16
TABELA 3. PRODUÇÃO PRIMÁRIA E SECUNDÁRIA DO PROTOCOLO EXPERIMENTAL SIPA TERRAS BAIXAS NOS DIFERENTES ANOS.	18
TABELA 4. COEFICIENTES ENERGÉTICOS DAS CULTURAS QUE COMPÕE OS DIFERENTES ARRANJOS NO PROTOCOLO EXPERIMENTAL SIPA TERRAS BAIXAS.	19
TABELA 5. MÉDIA E DESVIO PADRÃO DA PRODUÇÃO DE ENERGIA DOS DIFERENTES SISTEMAS DE PRODUÇÃO EM TERRAS BAIXAS DURANTE OS SEIS ANOS.....	25
TABELA 6. ESTABILIDADE DA PRODUÇÃO DE ENERGIA DOS DIFERENTES ARRANJOS DO PROTOCOLO EXPERIMENTAL SIPA TERRAS BAIXAS.....	25

SUMÁRIO

1. Introdução Geral	10
2. Revisão bibliográfica	11
2.1. Produção Orizícola	11
2.2. Mudança climática global – Fatores bióticos e abióticos	12
2.3. Sistemas Integrados de Produção Agropecuária	13
3. Objetivo	14
4. Material e métodos	15
5. Resultados.....	21
6. Discussão	26
7. Conclusão	31
8. Considerações finais	31
9. Referências Bibliográficas.....	32

1. INTRODUÇÃO GERAL

O aumento da intensificação da produção agrícola trouxe como consequência a alta especialização dos atuais sistemas agrícolas, gerando impactos negativos na esfera ambiental (TILMAN et al., 2002) aumentando a dependência de fertilizantes de origem industrial, pesticidas, irrigação e combustíveis fósseis (STOATE et al., 2001). Além disso, esses sistemas também contribuem para o aquecimento global, sendo responsáveis de forma direta e indireta por 19-29% das emissões globais (CAMPBELL et al., 2014).

A produção mundial da cultura do arroz (*Oryza sativa*) ocupa o nono lugar, no Brasil, sendo o maior produtor das Américas. No Rio Grande do Sul (RS), o arroz irrigado tem apresentado declínio e obteve produção de 7.241.458 na safra 18/19 (IRGA, 2019). Essa diminuição em produtividade pode ser atribuída a fatores de risco como chuvas no período de colheita que também acrescentam custos à produção e ao produto. Historicamente, o arroz se caracteriza pela baixa eficiência na utilização do solo, utilizando de forma extensiva a pecuária ou deixando as áreas em descanso (pousio) durante o inverno e verão.

Os sistemas integrados de produção agropecuária (SIPA) surgem como alternativa viável de intensificação sustentável (FAO, 2010). O conceito é baseado no aumento da produção sem a expansão da área agrícola, reconectando os sistemas com a natureza, minimizando impactos negativos, diminuindo riscos e gerando sinergismos na produção de alimentos (CARVALHO et al., 2018).

Assim como os fatores edáficos (relacionados ao solo), os fatores climáticos como gases atmosféricos, luz (intensidade e qualidade), temperatura, umidade, precipitação e vento atuam e podem modificar o desenvolvimento das plantas e produções agrícolas (produção primária). Em um ambiente natural, as plantas são expostas constantemente a estresses bióticos e abióticos. Por exemplo uma situação de seca altera desde o metabolismo celular até a taxa de desenvolvimento e crescimento, afetando diretamente o rendimento das culturas.

Tendo em vista o atual cenário de mudanças climáticas, como aumento da temperatura (XU et al., 2018) e a modificação do regime de chuvas, estudar o comportamento da produção primária dos diversos cultivos se torna de suma importância para que haja um melhor planejamento a fim de minimizar riscos ao produtor e mitigar impactos da produção (DIAS, 2018).

2. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

2.1. Produção Orizícola

O arroz é um dos cereais mais produzidos e consumidos mundialmente, destacando sua importância para a população devido caráter energético com alto teor de amido contido no grão. A cultura trata-se de uma *commoditie* e possui importante papel econômico no cenário dos países asiáticos (e. g. China, Índia e Indonésia) (FAO, 2019).

O Brasil ocupa o primeiro lugar na produção de arroz das Américas, com 12.469,5 toneladas na safra 2017/2018, entre os cultivos do tipo irrigado e sequeiro, ocupando a oitava posição no ranking de *commodities* no país (FAO, 2019). Em 2016, apenas 6% foi exportado, sendo o restante destinado ao consumo interno.

A região sul é responsável por 90% da produção do arroz irrigado brasileiro, destacando-se o estado do Rio Grande do Sul (RS) com produção de 8.460,2 toneladas e produtividade de 7.851 kg.ha⁻¹ na safra 2017/2018 (CONAB, 2019). Apesar da expressiva representatividade no cenário nacional, a cultura é historicamente caracterizada pela vulnerabilidade a riscos econômicos e ambientais principalmente devido ao modo de plantio convencional que conta com alta mobilização de solo no preparo para semeadura.

As áreas utilizadas para o cultivo do arroz no RS estão diminuindo e contam ocorrência de áreas ociosas no inverno, frequentemente em pousio ou com a pecuária sendo explorada de forma extensiva, resultando em índices produtivos insatisfatórios (BARROS, 2016). O arroz é uma cultura de influência econômica no setor agropecuário e é responsável por 2,6% das emissões, no Brasil, e 20% das emissões de GEE no Rio grande do Sul (SEEG, 208).

Visto a contribuição do arroz para o aquecimento global, existe a necessidade da mudança de olhar sobre os modelos produtivos usuais da cultura. Prevê-se que as mudanças climáticas aumentem duas vezes as emissões de CH₄ provenientes da produção orizícola até ao final do século (VAN GROENIGEN et al., 2013). Através da adoção da rotação de culturas se torna viável minimizar os riscos e intensificar o uso das terras destinadas à produção orizícola, melhorando o retorno financeiro e a sustentabilidade nesse ambiente produtivo (CARVALHO & BATELLO, 2009)

Esta mudança vem ocorrendo de forma progressiva e em diferentes arranjos de acordo com a localização no RS, se destacando a alternância do arroz e soja no período estival, e azevém no período hibernal (com ou sem pastejo) em pequena e médias propriedades de diferentes regiões com produção de arroz. Na região da Campanha, Fronteira Oeste e Sul do

estado a introdução de outras culturas e espécies forrageiras são utilizados em diferentes graus nas médias e grandes propriedades orizícola.

2.2. Mudança climática global – Fatores bióticos e abióticos

Ações antrópicas e seus efeitos no clima e no meio ambiente têm causado a diminuição e até extinção de animais e plantas, afetando diretamente a biodiversidade e a vida de diferentes níveis tróficos terrestres (CAVICCHIOLI et al., 2019). Previsões meteorológicas (XU et al., 2018) indicam a modificação de variáveis como o aumento da temperatura e o regime de chuvas, demonstra a necessidade de se estudar e conhecer fatores ecofisiológicos das plantas, principalmente das principais culturas agrícolas (DIAS, 2018).

Os fatores bióticos e abióticos influenciam de diferentes formas o crescimento e desenvolvimento vegetal. Os fatores bióticos são as interações e suas resultantes entre organismos (e. g. plantas, animais e microorganismos) em um ecossistema, condicionando as populações que o formam. Já as condições físicas e químicas do ambiente que afetam tanto as populações quanto o seu funcionamento, denominam-se fatores abióticos (e. g. água, radiação e temperatura) (DIAS, 2018).

As plantas respondem e toleram a variabilidade de estresses abióticos e bióticos a campo. Em culturas agrícolas essa variabilidade climática pode afetar negativamente o rendimento e a qualidade nutricional das plantas (PORTER & SEMENOV, 2005), principalmente pelo aumento da ocorrência da disseminação de pragas e patógenos como resposta ao aumento da temperatura (ATKINSON & URWIN, 2012).

O aumento da temperatura, por exemplo, diminui a taxa de assimilação de CO₂ causando diminuição de folhas, extensão das hastes e crescimento das raízes, alterando a relação entre a planta e a água, prejudicando a eficiência do uso da água (DIAS, 2018). Essa reação negativa ainda interrompe a ação dos pigmentos fotossintéticos, diminuindo as trocas gasosas e resultando em uma redução no crescimento e na produtividade da planta (ANJUM et al., 2011).

A vulnerabilidade e estabilidade dos sistemas são, respectivamente, a capacidade de se adaptar ou recuperar dos efeitos de uma série de riscos (SMIT & WANDEL, 2006), e a tendência de retornar após a perturbação (LEHMAN & TILMAN, 2000). Apesar de não estar claro ainda se o aumento da diversidade modifica a tolerância dos ecossistemas em eventos climáticos extremos, há resultados que sugerem maior resistência e estabilidade na produtividade de ambientes pastoris diversificados (ISBELL et al., 2015a).

A ocorrência de estresses abióticos combinados influencia a disseminação de patógenos e afetam diretamente as interações planta-praga, principalmente em sistemas de monocultivo

(PANDEY et al., 2017). Em situações de sistemas com maior biodiversidade, as plantas apresentam maior estabilidade, se tornando uma estratégia eficiente e sustentável para fornecimento de alimentação (e. g. forragem), biocombustíveis e serviços ecossistêmicos (TILMAN et al., 2002).

2.3. Sistemas Integrados de Produção Agropecuária – SIPA

A modernização da produção agrícola, impulsionada pela denominada “agricultura intensiva”, trouxe consequências na produtividade primária e secundária através da especialização e simplificação (CARVALHO et al., 2018). Os sistemas modernos especializados são caracterizados pela dependência e alto uso de recursos não renováveis como fertilizantes artificiais, pesticidas, irrigação e combustíveis fósseis (STOATE et al., 2001). A dependência do nitrogênio (N) aplicado é um bom exemplo: nos últimos cinquenta anos a produção aumentou três vezes, enquanto a quantidade de N aplicado aumentou oito vezes (CARVALHO et al., 2018a; GASTAL et al., 2015; SUBBARAO et al., 2013).

Nesse contexto, se torna inegável a necessidade de modificar os sistemas agrícolas (LEMAIRE et al., 2014) a fim de reduzir os impactos ambientais decorrentes da produção de alimentos. Uma alternativa para alcançar estes objetivos é a adoção de modelos de sistemas diversificados (CARVALHO et al., 2005). Os Sistemas Integrados de Produção Agropecuária (SIPA) são um caminho para a intensificação sustentável devido seu embasamento em práticas conservacionistas, tornando possível o aumento da produção de alimentos sem que ocorra uma consequente expansão de área agrícola (FAO, 2009)

Os SIPA buscam reconectar os sistemas agrícolas com a natureza, se diferenciando de outros modelos devido a presença do componente animal, aumentando a complexidade do sistema. O animal atua como um catalisador de processos, influenciando na dinâmica de nutrientes (DORAN, 2002). A pastagem, além de possuir papel direto na produção animal como principal fonte de alimentação, contribui com a geração de serviços ecossistêmicos, mitigando impactos ambientais negativos provenientes da agricultura intensiva (LEMAIRE et al., 2014).

A rotação de culturas com inserção de diferentes espécies vegetais e do componente animal contribuem com a redução do impacto das mudanças climáticas provenientes principalmente de ações antrópicas (CAMPBELL et al., 2014). A biodiversidade influencia positivamente na produtividade e na estabilidade, aumentando a resistência a extremos climáticos (ISBELL et al., 2015). Portanto, possuir um sistema menos diverso pode aumentar o risco de perdas de produção e, conseqüentemente, prejuízo financeiro ao produtor.

Além de apresentarem melhorias ambientais em um ambiente menos vulnerável, há maior rendimento e maior ganho financeiro do agricultor, comparado ao uso de monoculturas ou pecuária não integrada (CARVALHO et al., 2015). Segundo PONISIO et al. (2015) há incremento de aproximadamente 8% da produção do sistema quando há rotação de culturas.

Na região sul do Brasil, os SIPA têm sido proposto como diminuição desses riscos (CARVALHO et al., 2006), e se observa uma maior adoção destes modelos em situações de terra altas (planalto) com predominância de cultivos de milho (*Zea mays*) e soja (*Glycine max*) no período estival e espécies forrageiras, como azevém (*Lolium multiflorum* Lam.), no período hibernal. No cenário de terras baixas (planície) a adoção tem ocorrido de forma progressiva predominando as culturas de arroz (*Oryza sativa*) e soja no período estival e azevém (com ou sem pastejo) no período hibernal.

3. OBJETIVO

Avaliar como fatores abióticos influenciam na produção de sistemas integrados de produção agropecuária com diferentes arranjos de diversidade espaço-temporal em terras baixas.

4. MATERIAL E MÉTODOS

O estudo foi conduzido em um protocolo de longa duração de sistemas integrados de produção agropecuária (SIPA) em terras baixas, iniciado em 2013. A área experimental está inserida na propriedade particular denominada Fazenda Corticeiras, município de Cristal/ RS (latitude 30°58'20''S, longitude 51°57'12''O).

Localizado no Sul do estado, o clima é caracterizado como subtropical úmido e quente (Cfa), segundo a classificação de Köppen (KOTTEK et al., 2006), apresentando temperatura média anual de 18,4 °C e precipitação média anual de 1529,5 mm (INMET, 2019).

A área experimental possui 18 hectares, localizada a 28 metros acima do nível do mar com declividade de 0,04 m.m⁻¹. O solo é classificado como Planossolo Háptico eutrófico típico (STRECK et al., 2008), e possui textura areno-argilosa com 240, 230 e 530 g.kg⁻¹ de argila, silte e areia, respectivamente, na camada 0-20 cm de profundidade.

Originalmente esta área foi utilizada para produção orizícola de 1960 a 2009, sob manejo de plantio convencional. A partir de 2009, a área permaneceu em pousio até o início do experimento. No inverno de 2013, o protocolo começou a ser implementado e foi realizado preparo convencional (revolvimento do solo com uma passada de arado e duas de grade niveladora) e correção da acidez do solo pela incorporação de 4,5 Mg ha⁻¹ de calcário dolomítico (PRNT 70%) para elevar o pH até 6,0 (CQFS RS/SC, 2004).

Os sistemas avaliados no experimento apresentam sucessão ao cultivo anual de arroz irrigado em diferentes sistemas de produção e a presença do pasto com componente animal, sendo um conduzido em cultivo convencional sem pastejo e os demais em semeadura direta com pastejo (Tabela 1). Além de simular os diferentes cenários de produção orizícola, os tratamentos configuram diferentes tipos de diversidade em espaço e em tempo (Tabela 2). Os sistemas possuem o seguinte arranjo:

Sistema 1: Testemunha Padrão (TP): arroz – pousio – arroz: Sistema predominante e serve de testemunha em relação aos demais sistemas, caracterizando-se como monocultivo, o único com preparo do solo, sucedendo a colheita o arroz.

Sistema 2: Sucessão rápida, com baixa diversidade e plantio direto: arroz – azevém pastejado – arroz.

Sistema 3: Rotação rápida, com moderada diversidade e plantio direto: arroz – azevém pastejado – soja – azevém pastejado – arroz.

Sistema 4: Rotação lenta, com alta diversidade e plantio direto: arroz – azevém + trevo branco pastejados – capim sudão pastejado – azevém + trevo branco pastejados – soja – azevém + trevo branco pastejados – milho– azevém + trevo branco pastejados – arroz.

Sistema 5: Rotação lenta, com muito alta diversidade e plantio direto: arroz – azevém + trevo branco + cornichão pastejados – campo de sucessão pastejado – azevém + trevo branco + cornichão pastejados – campo de sucessão pastejado – azevém + trevo branco + cornichão pastejados – campo de sucessão pastejado – azevém + trevo branco + cornichão pastejados – arroz.

Tabela 1. Sistemas avaliados no protocolo de longa duração SIPA terras baixas.

Sistemas	Ano 1		Ano 2		Ano 3		Ano 4	
	Inverno	Verão	Inverno	Verão	Inverno	Verão	Inverno	Verão
1	Pousio	Arroz	Pousio	Arroz	Pousio	Arroz	Pousio	Arroz
2	Azevém	Arroz	Azevém	Arroz	Azevém	Arroz	Azevém	Arroz
3	Azevém	Soja	Azevém	Arroz	Azevém	Soja	Azevém	Arroz
4	Azevém + Trevo Persa	Capim Sudão	Azevém + Trevo Persa	Soja	Azevém + Trevo Persa	Milho	Azevém + Trevo Persa	Arroz
5	Azevém + Trevo Persa + Cornichão	Campo de Sucessão	Azevém + Trevo Persa + Cornichão	Campo de Sucessão	Azevém + Trevo Persa + Cornichão	Campo de Sucessão	Azevém + Trevo Persa + Cornichão	Arroz

Tabela 2. Diversidade e mobilização do solo espaço-temporal e intensidade temporal do arroz no protocolo de longa duração SIPA em terras baixas.

	Sistemas				
	1	2	3	4	5
Diversidade espaço-temporal	-	+	++	+++	++++
Intensidade temporal do cultivo do arroz	+++	+++	++	+	+
Mobilização espaço-temporal do solo	++++	++	++	++	+

Neste trabalho foram utilizados os dados das variáveis de produção animal e vegetal (junho/2013 a março/2019). No período hibernal, foi utilizado o método de pastoreio contínuo com lotação variável nos tratamentos com pastejo, composto por três animais testers por unidade experimental (UE, potreiro). Para a manutenção da altura do pasto foram utilizados animais reguladores conforme a metodologia proposta por MOTT & LUCAS (1952). Foram

utilizados novilhos castrados com idade média de 10 meses, e foram pesados após jejum prévio de sólidos e líquidos de aproximadamente 12 horas.

O critério para o início do pastejo quando o pasto atingiu altura média de 20 centímetros (cm) (aproximadamente 1500 kg.MS.ha⁻¹). Para os tratamentos com cultivo de arroz irrigado no verão, o período de pastejo finalizava geralmente na primeira semana de outubro. No sistema 5 (campo de sucessão) houve a sequência do pastejo durante o período estival. Para os demais tratamentos o pastejo foi até a primeira semana de novembro.

O manejo do pasto foi realizado a partir da altura média com objetivo de manter a 15 cm (PONTES et al., 2004), sendo monitorada quinzenalmente e fazendo-se leituras em 150 pontos aleatórios, determinados através de análise de suficiência amostral a fim de representar a área do potreiro (EU), com o uso do bastão graduado “sward stick”, segundo metodologia proposta por BARTHURAM (1981).

Para determinar a produção animal foram realizadas avaliações de ganho médio diário individual (GMD, kg.animal⁻¹.dia⁻¹), carga animal média do período de pastejo (CA, kgPV.ha⁻¹) e ganho de peso por área (Gha, kgPV.ha⁻¹). O GMD foi obtido pela diferença entre o peso final e o inicial dos animais testers, dividido pelo número de dias de pastejo. A CA foi calculada a partir da soma do peso médio dos animais testers e reguladores dividido por hectare. Para determinar o ganho por área, foi utilizado a média do GMD dos três animais testers multiplicada pela CA (animais.ha.dia⁻¹) e pelo número de dias de pastejo.

Para determinar a produção do pasto foram realizadas avaliações de MF (kgMS.ha⁻¹), produção total de forragem (PTMS, kgMS.ha⁻¹) e taxa de acúmulo diário de forragem (TxAc, kgMS.ha⁻¹.dia⁻¹). A estimativa de MF foi realizada a cada 28 dias, a partir de cinco cortes aleatórios por UE, sendo que, nestes mesmos locais, foram medidos cinco pontos de altura do pasto com o “sward stick”, para posterior ajuste da MF em função da altura real do pasto. A TxAc foi determinada utilizando três gaiolas de exclusão ao pastejo por UE (KLINGMAN et al., 1943). A MF dentro e fora da gaiola foi obtida pela média dos cortes avaliados. Todos os cortes foram realizados em uma área de 0,25 m² e acima do mantilho, sendo as amostras secas em estufa de circulação forçada de ar a 55°C até peso constante, e então pesadas. A PTMS foi obtida pelo somatório das produções dos sub-períodos (TxAc x número de dias do subperíodo), somada à MF do início do período de pastejo.

Para avaliação da produtividade dos cultivos estivais realizou-se colheita de forma manual, quando os cultivos atingiram a maturação plena, estágio reprodutivo R9 para o arroz, R6 para o milho e R8 para a soja, sendo amostrados cinco pontos aleatórios, em cada potreiro,

cada ponto com dois metros lineares, totalizando 4.5 m². Após colhidas, as amostras foram trilhadas, com realização da determinação da umidade dos grãos e posterior correção para 13%.

Foi utilizada a série histórica de dados diários das variáveis climáticas, a saber: precipitação, temperaturas média, máxima e mínima e radiação. Coletados na estação meteorológica automática localizada no município de Camaquã (latitude 30°48'28''S, longitude 51°50'2''O), de 1994 a 2019.

Tabela 3. Produção primária e secundária do protocolo experimental SIPA terras baixas nos diferentes anos.

Variável	Sistema 1	Sistema 2	Sistema 3	Sistema 4	Sistema 5
Ano agrícola 1					
Taxa de acúmulo (kg MS)		57,27	50,9	55,58	47,76
Produção de MS		7204,97	8299,6	8877,56	8740,14
GPV/ha		348,27	423,50	351,04	371,39
Carga animal (kg/ha)		1133,54	1024,67	960,67	907,67
Dias de pastejo		92	126	126	139
Produção de grãos (kg/ha)	11163,33	11736,7	3450	340,00	
Ano agrícola 2					
Taxa de acúmulo (kg MS)		42	17,86	22,98	25,63
Produção de MS		3180,07	3510,5	5127	5816
GPV/ha		136,51	144,03	157,96	263,8
Carga animal (kg/ha)		694,53	624,4	557,99	741,63
Dias de pastejo		41	113	140	140
Produção de grãos (kg/ha)	9980	11563,3	13660	4240	155
Ano agrícola 3					
Taxa de acúmulo (kg MS)		33,65	34,57	24,8	31,75
Produção de MS		3274,36	5402,5	5338,4	7433,87
GPV/ha		119,93	180,79	212,75	262,18
Carga animal (kg/ha)		755,95	528,06	670,86	806,15
Dias de pastejo		53	80	129	154
Produção de grãos (kg/ha)	9480,66	10323	4081,5	5006	109,5
Ano agrícola 4					
Taxa de acúmulo (kg MS)		120,1	69,7		65,16
Produção de MS		11301,87	7686,32		9365,3
GPV/ha		101,35	201,93		3554,38
Carga animal (kg/ha)		532	486,33		820,33
Dias de pastejo		62	86		104
Produção de grãos (kg/ha)	10380	11036,7	11460	10940	12120
Ano agrícola 5					
Taxa de acúmulo (kg MS)		32,25	54,34	59,28	68,04
Produção de MS		5589,62	7758,99	6972,37	9337,6
GPV/ha		342,76	308,03	381,46	377,28

Carga animal (kg/ha)	973,73	838,67	893,71	924,8
Dias de pastejo	69	86	97	87
Produção de grãos (kg/ha)	8343,33	6754,33	3460	116,21
Ano agrícola 6				
Taxa de acúmulo (kg MS)	75,21	135,45	97,33	94,55
Produção de MS	4768	8750,39	8936,6	12777,44
GPV/ha	182,12	329,04	383,5	584,33
Carga animal (kg/ha)	1017	1515,5	1300,67	1280
Dias de pastejo	36	50	66	119
Produção de grãos (kg/ha)	8497,66	6166,33	8809,5	4338,3

Para determinação da energia produzida nos sistemas, as variáveis produtivas de interesse (ganho de peso vivo por hectare, produção de grão por hectare, e produção total de matéria seca) foram multiplicadas por coeficientes energéticos específicos (Tabela 3) e somados, resultando em um valor de energia produzido dentro de um ano agrícola em MJ.kg⁻¹ para cada sistema estudado. Em decorrência das particularidades de manejo de cada sistema, o ano agrícola utilizado iniciou em abril e foi finalizado em março do ano seguinte.

Tabela 4. Coeficientes energéticos das culturas que compõe os diferentes arranjos no protocolo experimental SIPA terras baixas.

Cultura	Coeficiente Energético (MJ.kg⁻¹)	Referência
Arroz	19,03	Ferreira et al. (2014)
Soja	24,29	Ferreira et al. (2015)
Milho	14,58	Melo et al. (2006)
Leguminosas	18,58	Muhammad et al. (2014)
Azevém	18,05	Fuksa, Halk & Brant (2014)
Carne Bovina	9,3	Restle et al. (2001)

Para exploração dos dados foi utilizada a análise Random Forest, por meio do pacote “randomForest” do software estatístico R Studio (versão 3.6.0). Através da análise objetivou-se definir a ordem de importância das variáveis meteorológicas descritas sobre a variável dependente “Energia Produzida”. A análise foi realizada de forma global e individualizada, a fim de compreender como as diferentes variáveis (fatores abióticos) interferem em cada sistema avaliado.

A estabilidade dos sistemas foi calculada através da adaptação do modelo proposto por LEHMAN & TILMAN (2000), onde:

$$S_T = \frac{\mu_T}{\sigma_T}$$

S_T = estabilidade do sistema

μ_T = média da produção do sistema ao longo do tempo

σ_T = desvio padrão da média da produção dos sistemas ao longo do tempo

5. RESULTADOS

Figura 1. Temperatura média histórica de vinte e cinco anos (linha contínua) e temperatura média mensal (linha tracejada) no período de 2013 a março de 2019, no município de Camaquã.

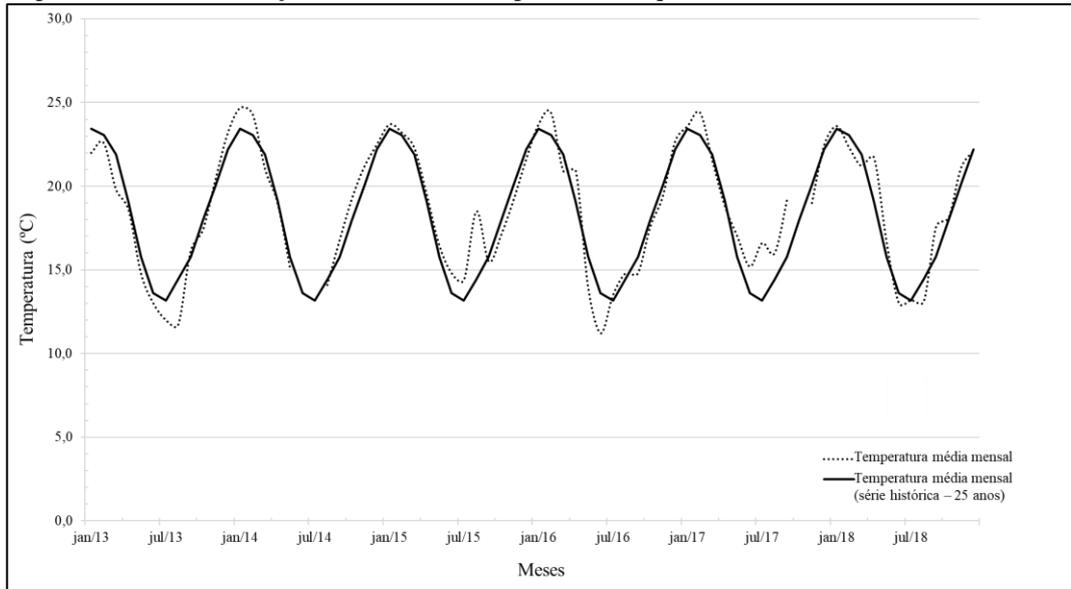


Figura 2. Precipitação média histórica de vinte e cinco anos (linha contínua); temperatura média mensal no período de 2013 a março de 2019 (linha tracejada), no município de Camaquã.

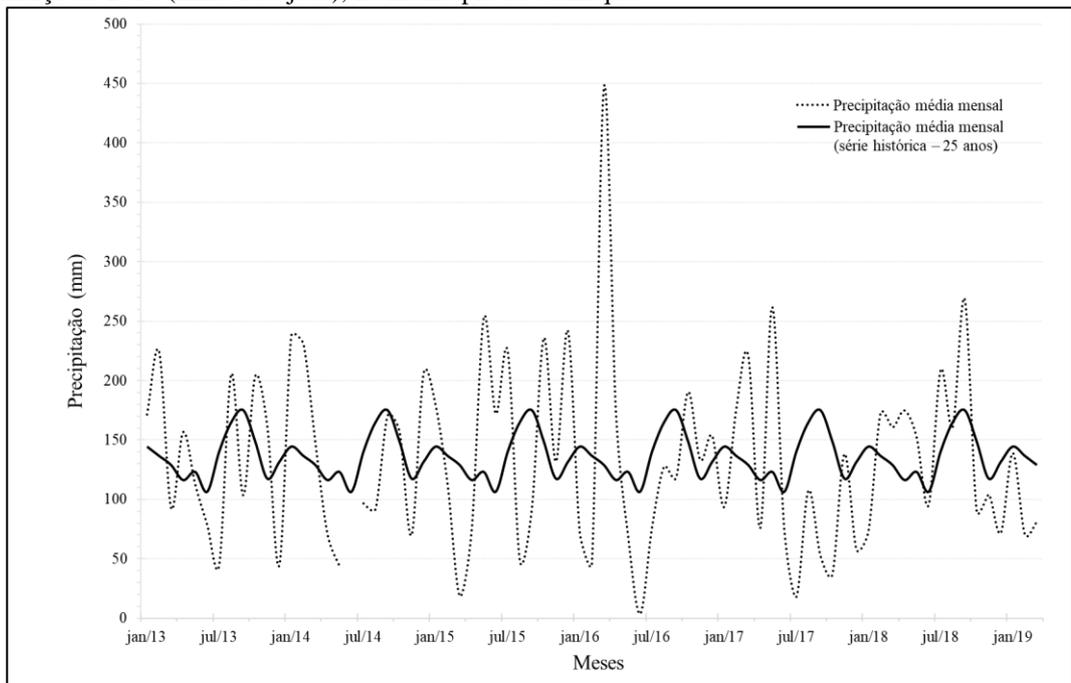
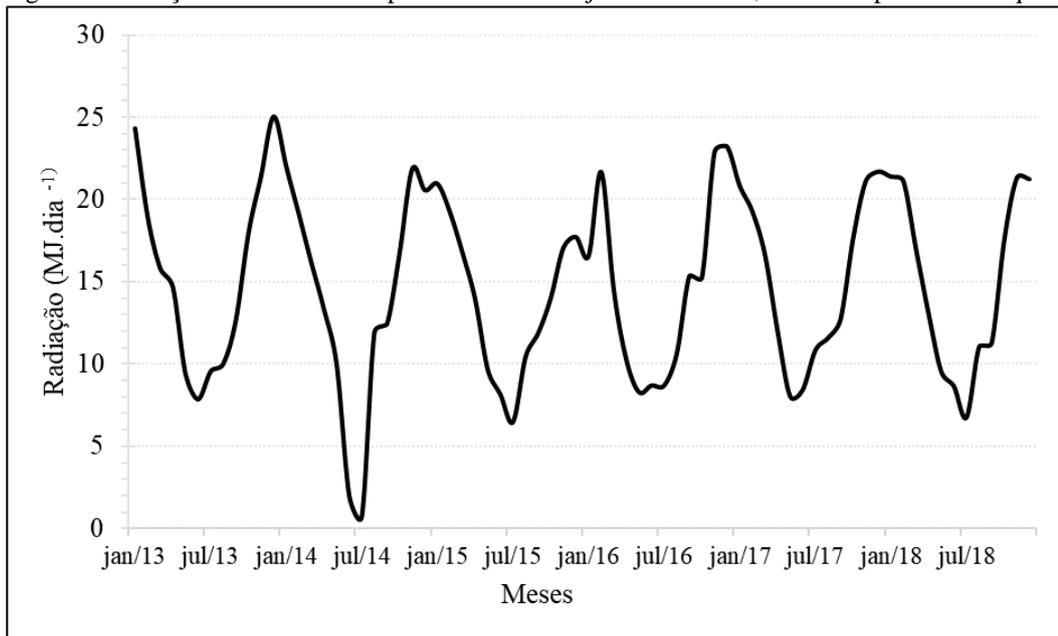
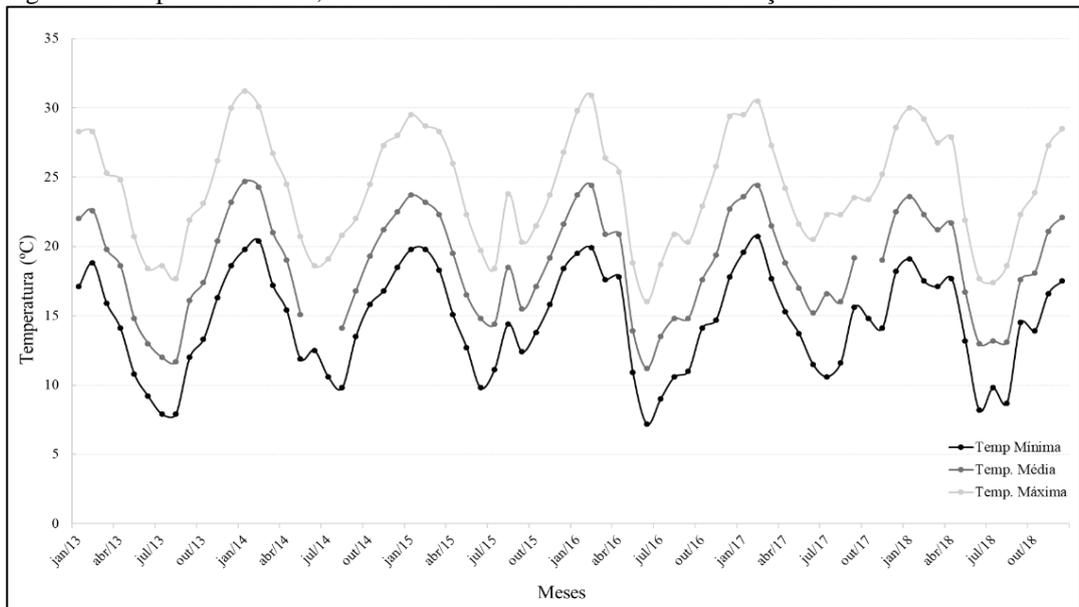


Figura 3. Radiação média diária no período de 2013 a janeiro de 2019, no município de Camaquã.



Na figura 4, são apresentadas as médias anuais de temperatura máxima, média e mínima, e apesar da variabilidade dentre os meses, as médias seguem o mesmo comportamento ao longo dos seis anos avaliados.

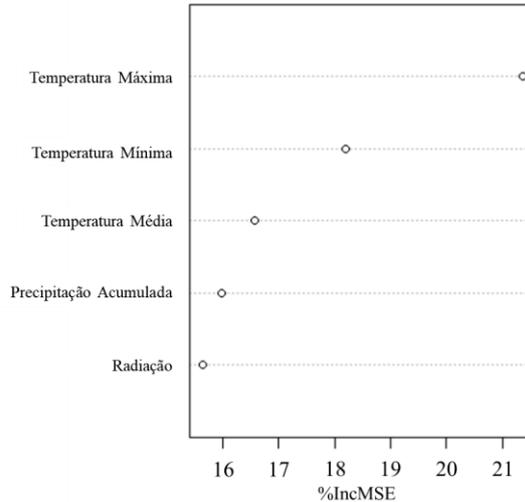
Figura 4. Temperatura média, mínima e máxima mensal de 2013 a março de 2019.



A temperatura máxima foi a variável com maior nível de importância, com um %IncMSE (porcentagem de explicação da variância) superior a 21. As temperaturas média e

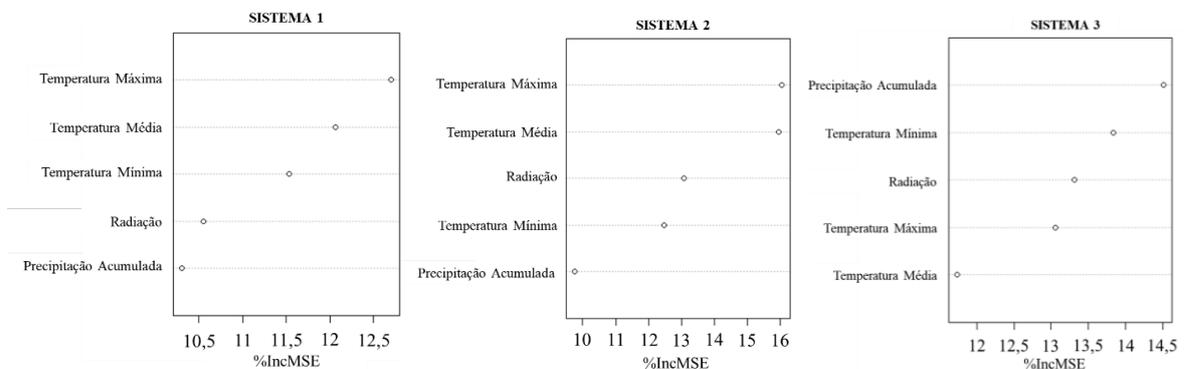
mínima, e a precipitação acumulada apresentaram valores entre 16 e 19% de explicação. A radiação apresentou poder explicativo menor que 16% (Figura 5)

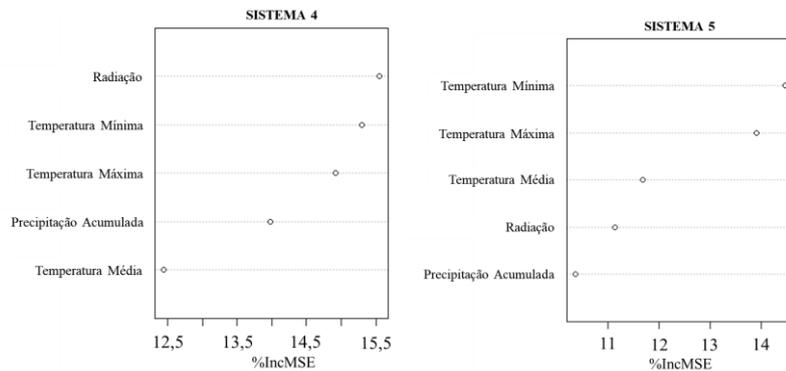
Figura 5. Random Forest da energia produzida (MJ.kg⁻¹) nos sistemas de cultivos de produção orizícola no protocolo experimental SIPA terras baixas.



Dependendo do arranjo e nível de diversidade do sistema, diferentes fatores climáticos explicam a variação na energia (MJ.kg⁻¹) produzida (Figura 6). Em sistemas com arroz (1 e 2) em todos os períodos estavais, a temperatura média e máxima foram apontadas como principais fatores de explicação durante os anos. Já os sistemas com maior nível de diversidade temporal (3 e 4) e espacial (5) tiveram suas produções alteradas por precipitação acumulada, radiação e temperatura mínima, respectivamente.

Figura 6. Random Forest para a energia produzida (MJ.kg⁻¹) em cada sistema avaliado no protocolo experimental SIPA terras baixas.





A produção de energia no sistema 1, único com manejo não integrado, demonstra queda com o decorrer dos anos. Nos sistemas 2, 3 e 5 se observa aumento da produção no ano 4 (2016/2017), porém ao longo desses anos apresentam variabilidade diferentes entre eles. O sistema 4 mantém sua energia produzida, sem aumento abrupto em nenhum ano. Observa-se que no último ano agrícola, os sistemas 3, 4 e 5, demonstram tendência no aumento da produção. Porém, os sistemas 1 e 2 demonstram uma tendência em diminuir a produção (Figura 7).

Figura 7. Energia produzida (MJ.kg^{-1}) nos sistemas com manejo integrado no protocolo experimental SIPA terras baixas.

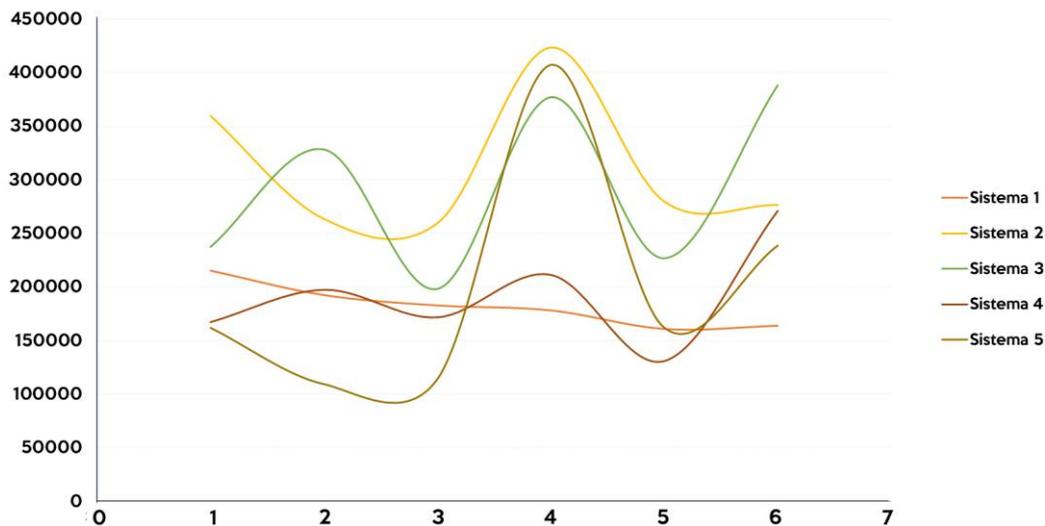


Tabela 5. Média e desvio padrão da produção de energia dos diferentes sistemas de produção em terras baixas durante os seis anos.

Sistema	Energia produzida (MJ.kg-1)	
1	182411,8	± 14603
2	356280,0	± 91954
3	292720,9	± 71774
4	191455,3	± 34924
5	200776,7	± 81320

Tabela 6. Estabilidade da produção de energia dos diferentes arranjos do protocolo experimental SIPA terras baixas.

Sistemas	Estabilidade
1	8,07a
2	4,66b
3	3,60c
4	3,98c
5	1,94d

A produção de energia foi mais estável no sistema 1 (testemunha), porém apresenta menor produção média durante os anos avaliados. O sistema 2 é o mais estável produtivamente e apresenta maior produção de energia em relação aos outros sistemas com o mesmo manejo (plantio direto) e presença do componente animal na fase pastagem, mas possui o maior desvio padrão ($\pm 91954 \text{ MJ.kg}^{-1}$).

Os sistemas 3 e 4 são igualmente estáveis estatisticamente, mas o sistema 3 é superior em produção de energia e maior variabilidade das produções ao longo dos anos ($292720,9 \text{ MJ.kg}^{-1} \pm 71774$ e $191455,3 \text{ MJ.kg}^{-1} \pm 34924$, respectivamente). O sistema 5 é estatisticamente menos estável em relação a todos os outros sistemas, mas sua produção média é de $200776,7 \text{ MJ.kg}^{-1} \pm 81320$ (Tabela 4).

6. DISCUSSÃO

Segundo SEIDL et al. (2014) em um cenário de grandes incertezas globais, a implementação da resiliência em agroecossistemas é uma estratégia mais robusta do que antecipar e mitigar riscos, pois esses riscos são, na maior parte, pouco compreendidos e imprevisíveis. Aumentar a resiliência significa tornar os sistemas mais capazes de absorver perturbações (HELLER & ZAVALITA, 2009; POIANI et al., 2011) uma questão importante, especialmente sob a perspectiva das mudanças climáticas.

Aumentar o nível de complexidade dos sistemas produtivos através do aumento da biodiversidade de cultivos aumenta a interação entre os fatores bióticos que ocorrem entre as plantas e traz como consequência a geração de serviços ecossistêmicos, e minimiza o impacto dos fatores abióticos nos sistemas produtivos (GABA et al., 2015).

As temperaturas média, máxima e mínima acompanham o comportamento da série histórica, e as pequenas oscilações que ocorrem tanto para a temperatura máxima quanto para mínima influenciam diretamente o desenvolvimento e o estabelecimento dos diferentes cultivos que compõe os arranjos experimentais avaliados. As modificações ecofisiológicas impulsionadas principalmente pela temperatura máxima no experimento de SIPA em terras baixas (Figura 5), aumentam a respiração da planta e conseqüentemente a emissão de CO₂ para a atmosfera (DIAS, 2018)

A temperatura média, apesar de não apresentar anomalia nos anos analisados demonstrou um aumento, principalmente nos meses de janeiro e fevereiro de todos os anos e nos invernos de 2015 e 2017, quando comparado a série histórica (Figura 1). Esse aumento na temperatura nos verões impacta negativamente no desenvolvimento da cultura do arroz, aumentando a esterilidade das espiguetas, reduzindo enchimento de grãos, aumentando as perdas respiratórias e resultando em menor rendimento na produção (MOHANTY et al., 2013).

A queda na produção do arroz devido ao aquecimento global é amplamente debatida a fim de minimizar os riscos de perdas produtivas, econômicas e aumentar a mitigação de gases de efeito estufa, visto que a cultura tem alta liberação de óxido nitroso e metano (HAN et al., 2016). No sistema 1, onde não há cobertura no período de inverno e o preparo do solo de forma convencional gerando uma perda na capacidade de dreno do sistema pois a mobilização e a atividade microbiana do solo retornam o carbono (C) na forma de CO₂.

Em SIPA em sua fase hiberna, a presença do resíduo vegetal e o compartimento animal, que atua como promotor da ciclagem de nutrientes através do esterco e da urina, aumentam o potencial de mitigação não só de GEE, mas também na forma como as plantas reagem a um

estresse abiótico. Com a presença de pastejo, há aumento da disponibilidade e liberação gradual de nutrientes ao longo do tempo e maior exploração do solo pelas pastagens, contribuindo para uma maior reciclagem de nutrientes (ASSMANN et al., 2017; ASSMANN et al., 2015).

Nos sistemas 1 e 2, que apresentam a cultura de arroz com uma maior frequência, apresentou uma queda na produção de energia do sistema nos últimos anos, onde o sistema 1 demonstra queda menos acentuada quando comparado ao sistema 2 durante os primeiro três anos. O monocultivo associado às mudanças de temperatura, aumentam a seleção natural devido à escassez de recursos para o desenvolvimento das plantas, trazendo como consequência o aparecimento de plantas consideradas daninhas pois são mais adaptadas ao ambiente.

O sistema 2 que, durante o inverno possui a presença do componente animal, inviabiliza a ressemeadura natural da pastagem devido a janela de operação para a desconstrução das taipas (OLIVEIRA NETO, 2019). O início do pastejo nesse sistema é geralmente tardio e resulta em um menor ganho por área. O manejo problemático e as condições hídricas do arroz irrigado dificultam a otimização do uso dessas áreas. Apesar do aumento expressivo na produção no ano 4 após uma seca que ocorreu no inverno de 2016, o comportamento na curva de produção tornou cair, demonstrando que mesmo apresentando maior estabilidade produtiva dentre os sistemas com rotação de culturas, esse arranjo envolve riscos produtivos, econômicos e possivelmente ambientais.

Apesar de semelhantes, o sistema 2 diferencia do sistema 1 pelo seu potencial em minimizar a entrada de doenças e plantas consideradas daninhas da cultura do arroz. O arroz vermelho, uma das principais invasoras da produção orizícola, tem sua velocidade de emergência favorecida com o aumento da temperatura média, porém com a prática de plantio direto e a entrada da cobertura vegetal com pastejo há quebra no ciclo da planta pois sem o revolvimento realizado para preparo do solo, as sementes viáveis não são levadas as camadas superficiais, evitando sua emergência.

O sistema 3 apresenta um comportamento produtivo variável e cíclico. Este sistema alterna soja e arroz durante o verão e possui o pastejo de azevém durante o inverno, apresentou um aumento na produção total de energia quando comparado aos anos 1 e 3. A soja permite ao sistema um maior tempo de pastejo (± 100 dias), resultando em um maior ganho por área na fase animal.

Segundo OLIVEIRA NETO (2019), a introdução da soja no sistema de produção orizícola aumenta a capacidade de ressemeadura natural do azevém. Apesar de apresentar uma maior produção energética dentro os sistemas (Figura 7), são os valores que apresentam maior

variabilidade entre os anos (Tabela 5), e pode estar relacionada com os eventos climáticos de precipitação, sendo a variável climática com maior nível de explicação da variância no sistema 3 (Figura 6).

A modificação do regime hídrico afeta a cultura da soja principalmente nos períodos de emergência e enchimento dos grãos (floração), e no estabelecimento e desenvolvimento do azevém, afetando diretamente a produção secundária. Essa característica explica a queda da produção energética no ano 3 (198336 MJ.kg⁻¹) que houve precipitação acumulada de 2040 mm, ficando acima da média anual da região.

Os sistemas 4 e 5 são os mais diversos de forma temporal e espacial, respectivamente. Ambos possuem pastagem de azevém em consórcio com leguminosa durante o período hibernal. A introdução do trevo-persa (*Trifolium resupinatum* Lam.) e do Cornichão (*Lotus corniculatus* L.) incrementam a PTMS dos sistemas e possibilitam ao animal uma diversificação da dieta.

A diversidade espacial do arranjo no sistema 4 é composta de plantas C₃ e C₄. As plantas de metabolismo C₄ (e. g. capim sudão e milho) possuem melhor produção em altas intensidades de radiação luminosa, fixam mais CO₂ e utilizam menos recurso hídrico no seu metabolismo quando comparado a uma planta C₃ (e. g. soja e azevém) (GUREVITCH et al., 2009). A média da produção energética do sistema 4 foi 4,95% superior quando comparado ao sistema 1 (testemunha), e isso pode estar relacionado ao nível de mobilização do solo onde todo início de safra a ação antrópica para o estabelecimento de uma nova cultura.

No sistema 4 a radiação foi a variável que melhor explicou a variância dos dados de produção de energia (Figura 6). O aumento da radiação global no início do ano quatro (2016/2017), com a ocorrência de precipitação de aproximadamente 400 mm combinada ao aumento da temperatura afetou a resposta produtiva do sistema. Registrou-se naquele ano uma produção de 6911,7 kgMS.ha⁻¹ de papuã (*Brachiaria plantaginea*) na entrelinha do milho. A quantidade de papuã inviabilizou o estabelecimento do azevém com plantio direto e não houve pastejo no inverno desse ano. Mesmo com a redução energética produzida pelo componente animal, a produção da lavoura naquele ano foi maior que as fases anteriores do ciclo nesse sistema.

A estabilidade do sistema 3 e 4 foram estatisticamente iguais (Tabela 6), porém suas produções de energia foram diferentes. Apesar de possuírem arranjo e diversidade temporal diferentes, os valores de produção do sistema 3 apresentaram maior variação quando comparado ao sistema 4 ($\pm 71774 \text{ MJ.kg}^{-1}$ e $\pm 34924 \text{ MJ.kg}^{-1}$, respectivamente) (Tabela 5). Essa

menor variação, do sistema 4, pode estar relacionada com o arranjo da diversidade, pois mesmo sob influência das variações de radiação, são menores quando comparadas ao valor do desvio do sistema 3 sob as oscilações de precipitação na localidade, tornando o sistema uma alternativa viável para a adoção de diversificação de sistemas agropecuários beneficiando-se com a redução nos riscos de perdas produtivas e, conseqüentemente, menor risco de problemas econômicos.

O sistema 5 possui maior diversidade espacial com pastagem de azevém consorciada com trevo-persa e cornichão no período hibernal e campo de sucessão durante três sucessivos verões e no quarto ano utiliza-se arroz na rotação desse sistema. Para as produções nesse sistema, a temperatura mínima foi a variável climática que mais explicou a variância dos dados (Figura 6). O sistema data majoritariamente com a produção vegetal para fins de alimentação animal e a temperatura basal inferior dessas espécies sempre que atingidas, limitam o estabelecimento, crescimento e desenvolvimento dessas plantas e, conseqüentemente, limita o acúmulo de matéria seca, de forma que se torne nulo ou desprezível (McWILLIAM, 1978; SENTELHAS et al., 1994), afetando também o ganho por área. A temperatura basal inferior do azevém, trevo-persa e cornichão são, respectivamente, 8°C, 1,8°C e 4,7°C (MOOT et al., 2000; MÜLLER et al., 2009; MONKS et al., 2009).

Há queda da temperatura, ficando abaixo das temperaturas basais inferiores das espécies hibernais do sistema, nos meses de julho e agosto de 2013, junho de 2016 e 2018 afetaram principalmente o desenvolvimento do azevém. Essa interferência não inviabilizou o pastejo dos animais, mas aumentou o tempo entre a semeadura do azevém e a entrada dos animais, pois com a queda da atividade metabólica e diminuição na fotoassimilação a planta reduziu a taxa de crescimento.

O sistema 5 foi o menos estável dentre os tratamentos avaliados no experimento (Tabela 6), porém sua produção média foi superior ao sistema 4 (Tabela 5). A alta produção energética com a entrada do arroz no ano 4, aumenta a variabilidade dos dados de produção, tornando o desvio de $\pm 81320 \text{ MJ.kg}^{-1}$. Apesar de demonstrar uma queda na produção do sistema do ano quatro para o cinco, se percebe a tendência de progressivo aumento na produção energética do ano 5 para o 6 (Figura 7).

A diversidade espacial deste arranjo oportuniza o aparecimento de habitats para invertebrados e o aumento da presença de polinizadores, contribuindo positivamente com até 40% na produção das culturas (VICKERY et al. 2009; POOTS et al. 2010; GABA et al. 2015). Além disso, a composição heterogênea de espécies forrageiras do sistema e o aumento da

vegetação espontânea em áreas degradadas pela adoção do monocultivo, auxilia o ambiente a melhorar a fertilidade do solo, descompactação do solo e, particularmente em terras baixas, na melhor drenagem da área.

As mudanças climáticas e sua conseqüente variabilidade relaciona-se de forma diferente ao redor do mundo com a produção de alimentos (RAY et al. 2015). Assim, os resultados evidenciam de forma ampla que a temperatura máxima foi a variável mais explicativa para a produção dos sistemas, porém os cinco arranjos avaliados foram particularmente influenciados por outras variáveis abióticas, como temperatura média, mínima, precipitação e radiação.

Portanto, a adoção de sistemas com diferentes arranjos de diversidade como via estratégica para a intensificação sustentável a fim de mitigar os impactos das mudanças climáticas na produção dos sistemas agroalimentares torna-se viável quando utilizada como ferramenta profilática, se adaptando às mudanças climáticas através de modificação de cultivos e gestão (OLESEN et al., 2011). Para essa tomada de decisão torna-se importante a integração do conhecimento pois o aumento da diversidade gera um modelo de produção em cascata (GABA et al. 2015), onde a modificação e influência de fatores climáticos no sistema produtivo diverso determinará desde os processos e serviços ecossistêmicos gerados até políticas públicas a fim mitigar o aquecimento global e diminuir a utilização de insumos na produção de alimentos.

7. CONCLUSÃO

A temperatura máxima foi a variável climática que mais explicou a variação dos dados de produção de energia (MJ.kg^{-1}) nos sistemas de produção agropecuária em terras baixas.

Os sistemas 2,3, 4 e 5, tiveram a variação dos seus dados de produção energética (MJ.kg^{-1}) explicados pelas variáveis temperatura média, precipitação acumulada, radiação e temperatura mínima, respectivamente.

O sistema 1, não integrado, apresentou maior estabilidade. Porém sua produção de energia ao longo dos anos diminuiu e sua média dos seis anos foi a menor observada.

O sistema 2 foi o mais estável e apresenta maior produção média de energia entre os sistemas que possuem integração.

Os sistemas 3 e 4 possuem igual estabilidade, porém a variabilidade da produção do sistema 4 é 2,1 vezes menor quando comparada ao sistema 3.

O sistema 5 foi o menos estável, porém apresentou tendência de aumento na energia produzida nos dois últimos anos.

8. CONSIDERAÇÕES FINAIS

Os diferentes arranjos que envolvem produção orizícola no estudo possuem particularidades devido às espécies e as combinações que os compõem. O conhecimento do comportamento e das interações destas espécies com as demais é imprescindível para que o sistema integrado seja implementado com sucesso e aumente o sinergismo entre os componentes solo-planta-animal beneficiando o ecossistema e minimizando os impactos gerados pelas mudanças climáticas e eventos extremos decorrentes do aquecimento global.

9. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- ANJUM, S. A. et al. Morphological, physiological and biochemical responses of plants to drought stress. **African journal of agricultural research**, [s. l.], v. 6, n. 9, p. 2026–2032, 2011.
- ASSMANN, A. L.; SOARES, A. B.; ASSMANN, T. S. LAVOURA-PECUÁRIA PARA A AGRICULTURA FAMILIAR. [s. l.], [s.d.].
- ATKINSON, N. J.; URWIN, P. E. The interaction of plant biotic and abiotic stresses: from genes to the field. **Journal of experimental botany**, [s. l.], v. 63, n. 10, p. 3523–3543, 2012.
- BARROS, T. Pastos hibernais e pastejo animal como forma de inserir diversidade e sustentabilidade ao ambiente de terras baixas do sul do Brasil. [s. l.], 2016.
- BARTHAM, G. T. Sward structure and the depth of the grazed horizon. **Sward structure and the depth of the grazed horizon.**, [s. l.], p. 2–6, 1980.
- CAMPBELL, B. M. et al. Sustainable intensification: What is its role in climate smart agriculture? **Current Opinion in Environmental Sustainability**, [s. l.], v. 8, p. 39–43, 2014.
- CARVALHO, P. C. de F. et al. O estado da arte em integração lavoura pecuária. **Produção animal: mitos, pesquisa e adoção de tecnologia**, [s. l.], p. 7–44, 2005.
- CARVALHO, P. C. de F. et al. Manejo da integração lavoura-pecuária em sistema de plantio direto na região de clima subtropical. **Encontro Nacional de Plantio Direto na Palha, Uberaba**, [s. l.], p. 77–184, 2006.
- CARVALHO, P. C. de F. et al. Integração do componente pastoril em sistemas agrícolas. **Simpósio Sobre Manejo da Pastagem**, [s. l.], v. 27, p. 33–56, 2015.
- CARVALHO, P. C. de F. et al. Integrating the pastoral component in agricultural systems. **Revista Brasileira de Zootecnia**, [s. l.], v. 47, n. March, 2018. a.
- CARVALHO, P. C. de F. et al. Integrating the pastoral component in agricultural systems. **Revista Brasileira de Zootecnia**, [s. l.], v. 47, 2018. b.
- CAVICCHIOLI, R. et al. Scientists' warning to humanity: microorganisms and climate change. **Nature Reviews Microbiology**, [s. l.], p. 1, 2019.
- DE FACCIO CARVALHO, P. C.; BATELLO, C. Access to land, livestock production and ecosystem conservation in the Brazilian Campos biome: the natural grasslands dilemma. **Livestock Science**, [s. l.], v. 120, n. 1–2, p. 158–162, 2009.
- DIAS, J. P. T. 1 IMPORTÂNCIA DA ECOFISIOLOGIA VEGETAL E MUDANÇAS CLIMÁTICAS PARA CULTURAS AGRÍCOLAS. **Editora da Universidade do Estado de Minas Gerais Belo Horizonte 2018**, [s. l.], p. 9, [s.d.].
- DORAN, J. W. Soil health and global sustainability: translating science into practice. **Agriculture, ecosystems & environment**, [s. l.], v. 88, n. 2, p. 119–127, 2002.
- DOST, M. et al. Egyptian Clover (*Trifolium alexandrinum*); King of Forage Crops. Regional Office for the Near East and North Africa, **Food and Agriculture Organization of the United Nations**, Cairo, 2014.
- FAO. (2009). Foro de expertos de alto nivel. Cómo alimentar al mundo 2050. La agricultura mundial en la perspectiva del año 2050. (4 p.). Roma, FAO.
- FERREIRA, Fernanda de Figueiredo; NEUMANN, Pedro Selvino; HOFFMANN, Ronaldo. Análise da matriz energética e econômica das culturas de arroz, soja e trigo em sistemas de produção tecnificados no Rio Grande do Sul. **Ciência Rural**, v. 44, n. 2, p. 380-385, 2014.

- FUKSA, Pavel et al. Energy balance of catch crops production. **Zemdirbyste-Agriculture**, v. 100, n. 4, p. 355-362, 2013.
- GABA, S. et al. Multiple cropping systems as drivers for providing multiple ecosystem services: from concepts to design. **Agronomy for Sustainable Development**, [s. l.], v. 35, n. 2, p. 607–623, 2015.
- GASTAL, F. et al. Quantifying crop responses to nitrogen and avenues to improve nitrogen-use efficiency. In: **Crop physiology**. [s.l.] : Elsevier, 2015. p. 161–206.
- GUREVITCH, Jessica; SCHEINER, Samuel M.; FOX, Gordon A. **Ecologia Vegetal-2**. Artmed Editora, 2009.
- HAN, Xingguo et al. Mitigating methane emission from paddy soil with rice-straw biochar amendment under projected climate change. **Scientific reports**, v. 6, p. 24731, 2016.
- HELLER, N. E.; ZAVALETA, E. S. Biodiversity management in the face of climate change: a review of 22 years of recommendations. **Biological conservation**, [s. l.], v. 142, n. 1, p. 14–32, 2009.
- ISBELL, F. et al. Biodiversity increases the resistance of ecosystem productivity to climate extremes. **Nature**, [s. l.], v. 526, n. 7574, p. 574–577, 2015. a.
- KLINGMAN, D. L.; MILES, S. R.; MOTT, G. O. The cage method for determining consumption and yield of pasture herbage. **Journal of the American Society of Agronomy**, [s. l.], v. 35, p. 739–746, 1943.
- KOTTEK, M. et al. World map of the Köppen-Geiger climate classification updated. **Meteorologische Zeitschrift**, [s. l.], v. 15, n. 3, p. 259–263, 2006.
- LEHMAN, C. L.; TILMAN, D. Biodiversity, Stability, and Productivity in Competitive Communities. **The American Naturalist**, [s. l.], v. 156, n. 5, p. 534–552, 2000. Disponível em: <<http://www.journals.uchicago.edu/doi/10.1086/303402>>
- LEMAIRE, G. et al. Integrated crop–livestock systems: Strategies to achieve synergy between agricultural production and environmental quality. **Agriculture, Ecosystems & Environment**, [s. l.], v. 190, p. 4–8, 2014.
- ASSMANN, J MARI. et al. Carbon and nitrogen cycling in an integrated soybean-beef cattle production system under different grazing intensities Ciclagem de carbono e nitrogênio em sistema integrado de produção de soja e bovinos de corte sob diferentes intensidades de pastejo. [s. l.], v. 50, n. 10, p. 967–978, 2015.
- MCWILLIAM, J. R. Response of pasture plants to temperature. Plant relations in temperature. Melbourne: **Commonwealth Scientific Industrial Research Organization**, p. 17-34, 1978.
- DE MELO, Dirceu et al. Balanço energético do sistema de produção de soja e milho em uma propriedade agrícola do Oeste do Paraná. *Acta Scientiarum*. **Agronomy**, v. 29, n. 2, p. 173-178, 2007.
- MOHANTY, S. et al. Rice and climate change: significance for food security and vulnerability. **International Rice Research Institute**, [s. l.], v. 14, 2013.
- MONKS, D. P. et al. Cardinal temperatures and thermal time requirements for germination of annual and perennial temperate pasture species. **Agronomy New Zealand**, v. 39, p. 95-110, 2009.
- MOOT, D. J. et al. Base temperature and thermal time requirements for germination and emergence of temperate pasture species. **New Zealand Journal of Agricultural Research**, v.

43, n. 1, p. 15-25, 2000.

MOTT, G. O.; LUCAS, H. L. The design, conduct and interpretation of grazing trials on cultivated and improved pastures. In: INTERNATIONAL GRASSLAND CONGRESS 1952, **Anais...** : Pennsylvania, 1952.

MÜLLER, Liziany et al. Temperatura base inferior e estacionalidade de produção de genótipos diplóides e tetraplóides de azevém. **Ciência Rural**, v. 39, n. 5, p. 1343-1348, 2009.

OLESEN, Jørgen E. et al. Impacts and adaptation of European crop production systems to climate change. **European Journal of Agronomy**, v. 34, n. 2, p. 96-112, 2011.

PANDEY, R. et al. Sustainable livelihood framework-based indicators for assessing climate change vulnerability and adaptation for Himalayan communities. **Ecological indicators**, [s. l.], v. 79, p. 338–346, 2017.

POIANI, K. A. et al. Redesigning biodiversity conservation projects for climate change: examples from the field. **Biodiversity and Conservation**, [s. l.], v. 20, p. 185–201, 2011.

PONISIO, L. C. et al. Diversification practices reduce organic to conventional yield gap. **Proceedings of the Royal Society B: Biological Sciences**, [s. l.], v. 282, n. 1799, p. 20141396, 2015.

PONTES, L. da S. et al. Fluxo de biomassa em pastagem de azevém anual (*Lolium multiflorum* Lam.) manejada em diferentes alturas. **Revista brasileira de zootecnia= Brazilian journal of animal science. Viçosa, MG. Vol. 33, n. 3 (maio/jun. 2004), p. 529-537**, [s. l.], 2004.

POTTS, Simon G. et al. Global pollinator declines: trends, impacts and drivers. **Trends in ecology & evolution**, v. 25, n. 6, p. 345-353, 2010.

PORTER, J. R.; SEMENOV, M. A. Crop responses to climatic variation. **Philosophical Transactions of the Royal Society B: Biological Sciences**, [s. l.], v. 360, n. 1463, p. 2021–2035, 2005.

RAY, Deepak K. et al. Climate variation explains a third of global crop yield variability. **Nature communications**, v. 6, p. 5989, 2015.

SEIDL, R. et al. Increasing forest disturbances in Europe and their impact on carbon storage. **Nature climate change**, [s. l.], v. 4, n. 9, p. 806, 2014.

SENTELHAS, P. C.; UNGARO, M. R. G. Índices bioclimáticos para a cultura de girassol. **Scientia Agricola**, v. 55, n. 1, p. 73-78, 1998.

SMIT, B.; WANDEL, J. Adaptation, adaptive capacity and vulnerability. **Global environmental change**, [s. l.], v. 16, n. 3, p. 282–292, 2006.

STOATE, C. et al. Ecological impacts of arable intensification in Europe. **Journal of environmental management**, [s. l.], v. 63, n. 4, p. 337–365, 2001.

STRECK, E. V. et al. **Solos do Rio Grande do Sul**. [s.l.] : UFRGS: EMATER/RS-ASCAR Porto Alegre, 2008.

SUBBARAO, G. V. et al. Nitrogen management in grasslands and forage-based production systems—Role of biological nitrification inhibition (BNI). **Tropical grasslands-forrajes tropicales**, [s. l.], v. 1, n. 2, p. 168–174, 2013.

TILMAN, D. et al. Agricultural sustainability and intensive production practices. **Nature**, [s. l.], v. 418, n. 6898, p. 671, 2002.

VAN GROENIGEN, K. J.; VAN KESSEL, C.; HUNGATE, B. A. Increased greenhouse-gas

intensity of rice production under future atmospheric conditions. **Nature Climate Change**, [s. l.], v. 3, n. 3, p. 288–291, 2013. Disponível em: <http://dx.doi.org/10.1038/nclimate1712>

VICKERY, Juliet A.; FEBER, Ruth E.; FULLER, Robert J. Arable field margins managed for biodiversity conservation: a review of food resource provision for farmland birds. **Agriculture, ecosystems & environment**, v. 133, n. 1-2, p. 1-13, 2009.

XU, Y.; RAMANATHAN, V.; VICTOR, D. G. **Global warming will happen faster than we think**, Nature Publishing Group, 2018.