

UNIVERSIDADE FEDERAL DE SANTA CATARINA
ADENOR VICENTE WENDLING

TECNOLOGIAS AGROECOLÓGICAS PARA A INTEGRAÇÃO
VEGETAL E ANIMAL.

Florianópolis, SC

2017

Adenor Vicente Wendling

TECNOLOGIAS AGROECOLÓGICAS PARA A INTEGRAÇÃO
VEGETAL E ANIMAL.

Tese submetida ao Programa de Pós-graduação
em Agroecossistemas – PGA - da Universidade
Federal de Santa Catarina para a obtenção do
Grau de Doutor em Agroecossistemas.
Orientador: Prof. Dr. Luiz Carlos Pinheiro
Machado Filho; Coorientadores : Prof. Dr. Ilyas
Siddique e Prof Dr. Luiz Carlos Pinheiro
Machado

Florianópolis, SC, 2017

Ficha de identificação da obra elaborada pelo autor,
através do Programa de Geração Automática da Biblioteca Universitária da UFSC.

Wendling, Adenor Vicente

Tecnologias agroecológicas para a integração
vegetal e animal. / Adenor Vicente Wendling ;
orientador, Luiz Carlos Pinheiro Machado Filho,
coorientador, Luiz Carlos Pinheiro Machado,
coorientador, Ilyas Siddique, 2017.
125 p.

Tese (doutorado) - Universidade Federal de Santa
Catarina, Centro de Ciências Agrárias, Programa de
Pós-Graduação em Agroecossistemas, Florianópolis, 2017.

Inclui referências.

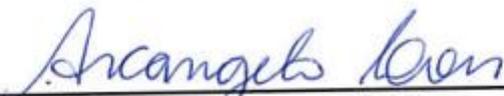
1. Agroecossistemas. 2. Caracterização da produção
e do uso de silagem . 3. Plantio direto de milho em
pastagens perenes polifíticas. 4. Plantio de
leguminosas em pastagens perenes. 5. Fertilidade do
solo. I. Machado Filho, Luiz Carlos Pinheiro . II.
Machado, Luiz Carlos Pinheiro. III. Siddique, Ilyas
IV. Universidade Federal de Santa Catarina.
Programa de Pós-Graduação em Agroecossistemas. V.
Título.

“Tecnologias Agroecológicas para a Integração Vegetal e Animal”

Por

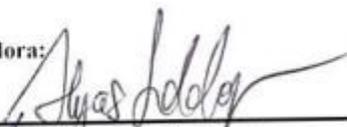
ADENOR VICENTE WENDLING

Tese julgada adequada, em 31/10/2017, e aprovada em sua forma final, pelo Coorientador e Membros da Banca Examinadora, para obtenção do título de Doutor em Agroecossistemas, Área de Concentração Agroecologia, no Programa de Pós-Graduação em Agroecossistemas, Centro de Ciências Agrárias/UFSC.

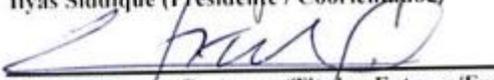


Prof. Dr. Arcangelo Loss (Coordenador do Programa)

Banca Examinadora:



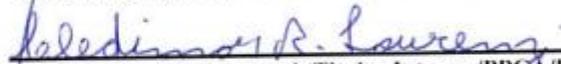
Ilyas Siddique (Presidente / Coorientador)



Airton Antonio Castagna (Titular Externo/Fundação Técnico Educ. Souza Marques)

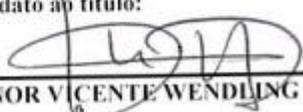


Cibele Longo (Titular Externo/Pesquisadora)



Cleidimar Rogério Lourenzi (Titular Interno /PPGA/UFSC)

Candidato ao título:



ADENOR VICENTE WENDLING

Florianópolis, 31 de outubro de 2017

Este trabalho é dedicado aos meus pais, esposa e filhas.

AGRADECIMENTOS

A maior gratidão que sinto ao final dessa caminhada é pela minha família: Maristela, Isabel e Tamires, que nunca deixaram de me apoiar nesse objetivo. Mais uma vez proporcionaram as condições de ir em busca dos meus objetivos, muitas vezes inclusive em prejuízo dos seus.

Ao meu pai e minha mãe, pelos exemplos e ensinamentos constantes. Aos meus irmãos e irmã, cunhados e cunhadas, sogro (*in memoriam*), sogra e amigos, que sempre demonstraram carinho, compreensão e apoio.

A possibilidade de realizar o sonho de aprofundar os conhecimentos dentro de uma Universidade Pública Federal foi concretizada graças aos investimentos em educação feitas a partir dos governos Lula e Dilma, que fortaleceram as Universidades públicas, possibilitaram a abertura de novos cursos e vagas nas mais diferentes áreas. A estes, meus sinceros agradecimentos e reconhecimentos.

Aos agricultores, que acreditam na possibilidade de produzir alimentos mais saudáveis e mantêm vivo o entusiasmo pelo fortalecimento da agroecologia. Aos agricultores que participaram dos trabalhos realizados durante o curso de doutorado, seja nas entrevistas, nos encontros, cursos e projetos do LETA (Laboratório de etologia aplicada e bem-estar animal), e em especial, a família de Raimundo, Lori e Louvane, por cederem a área para a implantação da pesquisa.

Aos professores, que compreenderam as dificuldades decorrentes da falta de habilidade científica e do excesso de extensionismo. Ao orientador Luiz Carlos Pinheiro Machado Filho, que mesmo sobrecarregado de atividades, conseguiu dedicar o tempo necessário para a construção dessa tese. Mas, muito além da tese, pelas lições de colaboração, ética, amizade e humanidade que sempre proporcionou durante esses quatro anos. Na mesma intensidade, agradeço aos Coorientadores Luiz Carlos Pinheiro Machado e Ilyas Siddique, que também souberam me orientar na medida a atender minhas deficiências.

Aos professores e membros dos laboratórios LABIMA, Forragicultura e de solos da UFSC, ao Instituto Federal de Santa Catarina, campus de São Miguel do Oeste e ao professor Fernando Perobeli da UFFS campus Chapecó, pela disponibilidade e auxílios prestados sempre que necessário, meu agradecimento.

Agradeço os colegas do LETA pela amizade, cooperação e inspiração. Embora a participação de cada membro do LETA seja em diferentes níveis, esse grupo foi o ambiente sólido para encarar e suportar as demandas e exigências durante esses quatro anos. Pela participação efetiva nas mais variadas atividades desenvolvidas para a concretização

desta tese, cito os seguintes colegas: Ruã, Hizumi, Daniel, Luã, Ana Laura, Gabriela Bica, Gabriela Marquete, Fabiellen, Caroline, Jêssica, José, Dário.

Aos colegas, ou seja, ex-colegas da Epagri, em especial aos que acreditam na importância de um trabalho voltado para a sustentabilidade e de qualidade de vida dos agricultores. Ao colega Marciano pela colaboração durante a realização do experimento, minha gratidão.

Meus agradecimentos à FAPESC/CAPES pela bolsa de estudo fornecida durante todo o curso. Ao programa CAPES MES/Cuba que viabilizou uma estada de 4 meses em Cuba. Aos pesquisadores e trabalhadores da Estação Experimental Indio Hatuey de Cuba pelo apoio. Igualmente ao CNPq e demais instituições que financiaram a chamada MCTI/MAPA/MDA/MEC/ MPA/CNPq N° 81/2013, por financiar as pesquisas desta tese.

Aos cinco colegas da primeira turma de doutorado do curso de Pós-graduação em Agroecossistemas, bem como por toda a equipe docente, pela coragem e persistência em delinear um curso fora dos caminhos convencionais: obrigado e parabéns.

RESUMO

O uso de silagem e de grãos de milho para a alimentação de bovinos é comum entre a maior parte dos produtores, e é um fator que afeta os custos econômicos e ambientais de todo o sistema de produção de leite e carne. Nesta tese nós buscamos a resposta para duas questões: 1) Quais as características da produção e do fornecimento de silagem nos estabelecimentos rurais no Oeste de Santa Catarina, Brasil?; 2) É possível e viável produzir silagem e grãos através do cultivo de milho em pastagens polifíticas perenes sem uso de agrotóxicos ou revolvimento do solo e sem degradar a pastagem? Para responder estas questões foram realizados três estudos: O primeiro estudo, teve como objetivo descrever os sistemas de produção e fornecimento da silagem praticados pelos produtores de leite no Oeste de Santa Catarina. Foram realizadas entrevistas e visitas a campo em 22 estabelecimentos de 11 municípios do Extremo Oeste Catarinense, com o objetivo de caracterizar o uso de silagem para a atividade leiteira no Oeste Catarinense. Esse estudo mostrou que a base para a produção de silagem é a cultura do milho em sistema de plantio direto (SPD), com uso de agrotóxicos, adubação química e sementes transgênicas, sem cobertura do solo, e em rotação invernal com aveia/azevém. A área média utilizada para a produção de silagem e milho grão representa 59% da área destinada para a atividade leiteira. A produção média de silagem é de 8,8 e 7,6 t ha ano⁻¹ na safra e safrinha respectivamente. Tipicamente, a silagem é fornecida logo após as duas ordenhas, todos os dias do ano, numa quantidade de 6,06 ± 0,63 kg de MS vaca⁻¹ (média ± Erro Padrão). A silagem é fornecida junto com uma quantidade média de 3,09 ± 0,41 kg de MS vaca⁻¹ de ração. As quantidades de silagem e ração são ofertadas sem base em critérios técnicos. O mesmo ocorre com o uso dos insumos nas lavouras. O segundo estudo teve como objetivo avaliar a viabilidade de produção de silagem e grãos através de indicadores de produção, qualidade, custo financeiro e ambiental, em área com cultivo de milho em consórcio com pastagens polifíticas existentes. Para isso realizamos dois experimentos. No primeiro, avaliamos os efeitos de diferentes intensidades de corte da pastagem e adubação na produção de milho e pastagem; e estimamos a eficiência energética, a emissão de gases de efeito estufa e os custos variáveis. Comparamos dois procedimentos de corte da pastagem antes da semeadura do milho: roçada a 5 cm acima do solo, e a mesma roçada seguida por uma raspagem da pastagem rente ao solo (0 cm) em 15 cm de largura ao longo da linha de plantio. No segundo experimento, avaliamos as consequências na produtividade das pastagens entre os ciclos do milho, dos tratamentos energeticamente mais eficientes. Ambos experimentos foram realizados em pastagem manejada sob Pastoreio Racional Voisin. No primeiro experimento, a produção de biomassa para silagem (milho planta inteira + pastagem = 9,01 t ha⁻¹ ano⁻¹), e milho em grão

(3,75 t ha⁻¹ ano⁻¹) foi maior com adubação química recomendada (AQ) que na adubação com cama de peru (CP) ou testemunha sem adubação (AZ) (p<0,01). Porém, a intensidade de emissão de gases de efeito estufa (iGEE) também foi a maior em AQ comparado com todas as outras adubações (p<0,05). A eficiência energética foi maior em CP, com 24,6 MJ produzidos para cada MJ gasto, seguido por AZ (16,8), a metade (MQ) de AQ (11,9) e AQ (10,2). O custo variável (R\$ t⁻¹) não diferiu entre os tratamentos. Não houve efeito da raspagem da pastagem nem de interação em nenhuma variável avaliada no primeiro experimento. No segundo experimento, houve menor produção de pastagem nos tratamentos com presença de milho, no segundo ano. O acamamento da resteva de milho nestes tratamentos diminuiu a produção início de cada período, mas não provocou degradação da pastagem, que apresentou produção idêntica nos meses seguintes. Houve aumento da concentração de MO no solo na profundidade de 0 a 0,10 m e diminuição na profundidade de 0,10 a 0,20 m, no segundo ano em relação ao primeiro ano. Conclui-se que o cultivo de milho sob plantio direto em pastagens perenes polifíticas viabiliza a produção de silagem e grãos, com diminuição dos impactos ambientais e produção satisfatória, sem degradar a pastagem, eliminando assim a necessidade de áreas adicionais para esta produção. A redução ou substituição da adubação química por orgânica diminui as externalidades ambientais e aumenta a eficiência energética. O terceiro estudo teve como o objetivo avaliar as alterações das condições do solo e da produção de fitomassa em pastagem formada por *Panicum maximum* e *Cynodon spp.*, através do cultivo de leguminosas visando o cultivo posterior de milho, sem degradar a pastagem. Foram testados os tratamentos: **Canavália**, com *Canavalia Ensiformis*; **Crotalária**, com plantio de *Crotalaria Juncea* e, **Testemunha**, sem plantio de leguminosa. A produção de fitomassa aos 85 dias após o plantio diferiu entre os tratamentos, com 8,2, 6,1 e 3,7 t ha⁻¹ nos tratamentos Canavália, Crotalária e Testemunha respectivamente. A produção de cálcio e fósforo foram maiores no tratamento Canavália, seguido pelo tratamento Crotalária, e menor no tratamento Testemunha. A produção de nitrogênio e magnésio foi maior nos tratamentos Canavália e Crotalária em comparação com a Testemunha. A macrofauna e a resistência a penetração do solo não foram afetadas pelos tratamentos. Conclui-se, com o conjunto da tese que a silagem tem grande importância na alimentação do gado na atividade leiteira, e contribui para sua produtividade. Sua produção, entretanto, deve e pode ser obtida com menores custos financeiros e ambientais, através do plantio direto do milho em áreas de pastagens perenes.

Palavras chave: Gás efeito estufa, flutuação estacional, silagem, sucessão animal-vegetal, pastagem, plantio direto, pastoreio racional Voisin.

ABSTRACT

The use of silage and corn grains for animal feeding is common in most of the dairy and beef producing regions. However, conventional corn production generates large outsourced environmental and economic costs. In this thesis, we seek to answer two questions: 1) What are the characteristics of silage production and supply in rural farms in the West of the state of Santa Catarina, Brazil? 2) Is it possible and viable to produce silage and grains through corn cultivation in perennial mixed-sward pasture, without pesticide and without harming the production of both crops? In order to answer these questions, three studies were carried out. In the first study, interviews and field visits were carried out in 22 establishments and 11 municipalities in the region Far West of Santa Catarina - Brazil, with the aim of characterizing the production systems and the use of silage for dairy activity in the West of Santa Catarina. This study shows that the basis for silage production is corn with no-tillage system, with the use of agrochemicals, chemical fertilization and transgenic seeds, without soil cover, and crop rotation with *Vicia sativa/Lolium sp.* The average area used for production is 8.46 ha, representing 59% of the area destined for the dairy activity. The average production of silage is 8.8 and 7.6 t ha⁻¹ year⁻¹ in the first and in the second harvest respectively, without significant difference. Typically, the silage is supplied to dairy cows through the whole year, right after milking, in an average amount of 6.06 ± 0.63 (Standard Error) kg DM cow⁻¹ day⁻¹. The silage is supplied with an average amount 3.09 ± 0.41 kg DM cow⁻¹ day⁻¹ of feed. The amount of silage and feed are supplied without technical criteria. The same occurs with the use of agrochemicals products used in the crops. In the second study, we evaluated the viability of integrating silage and grain production by planting corn in mixed perennial pastures in two experiments. In the first, we evaluated the effects of different cutting intensities of pasture and fertilization on maize and pasture production; and we estimated energy efficiency, greenhouse gas emissions and variable costs. We compared two procedures to cut pasture before seeding maize: 5 cm above the ground, and the same cutting followed by a scraping of the pasture close to the ground (0 cm) in 15 cm width along the planting line. In the second experiment, we evaluated the consequences on pasture productivity among maize cycles, of the most energy efficient treatments. Both experiments were done in a pasture managed under Voisin's rational grazing. In the first experiment, biomass production for silage (whole plant + pasture = 9.01 ha⁻¹ year⁻¹) and maize grain (3.75 t ha⁻¹ year⁻¹) was higher with chemical fertilization recommended (CF) than in organic fertilization with turkey bed (OF) or control with no fertilization (NF) (p <0.01). However, the greenhouse gas emission intensity (GHGi) was also higher in CF than in all other fertilizations (p <0.05). Energy efficiency was higher in OF, with 24.6 MJ produced for each MJ spent, followed by NF

(16.8), half (HF) of CF (11.9) and CF (10.2). The variable cost (R\$ t⁻¹) did not differ among the treatments. There was no effect of scrapping nor interaction on any variable evaluated in the first experiment. In the second experiment, there was lower pasture production in treatments with presence of maize in the second year. The lodging of the maize residue in these treatments decreased the initial production of each period, but did not induce the degradation of the pasture, which presented identical production in the following months. There was an increase in the organic matter (OM) concentration in the soil in the 0 to 0.10 m depth and a decrease in the depth of 0.10 to 0.20 m in the second year in relation to the first year. We concluded that the cultivation of maize under direct seeding in perennial mixed-sward pastures allows the production of silage and grains, reduces environmental impacts and provides satisfactory production, without degrading pasture, thus eliminating the need for additional areas for this production. The reducing or replacing chemical fertilization by organic matter reduces environmental externalities and increases energy efficiency. The third study had the aim of evaluating the changes in the soil conditions and phytomass production in pasture formed by *Panicum maximum* and *Cynodon* spp., through the cultivation of legumes aiming at the later cultivation of corn, without degrading the pasture. The treatments were tested: Canavalia, with *Canavalia Ensiformis*; Crotalaria, with planting of *Crotalaria Juncea* and, Control, without leguminous planting. Phytomass production at 85 days after planting differed between treatments, with 8.2, 6.1 and 3.7 t ha⁻¹ in the Canavália, Crotalaria and Control treatments, respectively. The production of Calcium and Phosphorus were higher in the Canavália treatment, followed by the Crotalaria treatment, and lower in the Control treatment. The production of Nitrogen and Magnesium was higher in the Canavalia and Crotalaria treatments compared to the Control. Macrofauna and soil penetration resistance were not affected by the treatments. It is concluded with the thesis that silage is of great importance in feed in dairy cattle. Its production, however, must and is possible to be obtained with lower financial and environmental costs, through the cultivation of corn in perennial pasture areas through no tillage.

Keywords: Greenhouse gas, Seasonal fluctuation, silage, animal-vegetable succession, pasture, no tillage, Voisin's rational grazing

LISTA DE FIGURAS

| | |
|--|-----|
| Figura 1. (A) Croqui com exemplo da situação atual dos estabelecimentos com produção de leite; (B) Croqui da proposta de integração do cultivo de milho em pastagens perenes. | 44 |
| Figura 2. Mapa da do Brasil com destaque a localização dos estabelecimentos participantes deste estudo, no Oeste de Santa Catarina. | 51 |
| Figura 3 - Regressão de quantidade de silagem + ração fornecida (kg de MS vaca ⁻¹ dia ⁻¹) na produção de leite por área (t ha ⁻¹ ano ⁻¹) e por vaca (t vaca ⁻¹ ano ⁻¹) dos 21 estabelecimentos participantes deste estudo. | 55 |
| Figura 4. Dados climáticos registrados na estação metereológica mais próxima, localizada em São Miguel do Oeste, a 30 km do experimento. | 69 |
| Figura 5. Produção de milho grão (Mgrao), milho planta inteira (MPInt), e de pastagem, durante o ciclo do milho (t MS ha ⁻¹). Média das safras 2014/2015 e 2015/2016, em área de cultivo de milho em pastagem perene polifítica, conforme tratamento | 74 |
| Figura 6- Precipitação e evaporação verificados em Perico, Matanzas, Cuba, em 2015. | 88 |
| Figura 7: Crescimento da pastagem e das leguminosas em área de plantio de leguminosas sobre pastagens perenes de gramíneas, no período das chuvas, em Cuba. | 91 |
| Figura 8. Vista aérea do estabelecimento com lavoura convencional e com milho cultivado sobre pastagem perene, em Tunápolis, 2016. | 128 |
| Figura 9. Visão geral de um estabelecimento representativo. No centro a esquerda a área de silagem, à direita área de pastagem perene, ao centro alto a reserva legal. | 129 |
| Figura 10. Vista parcial do primeiro experimento. Pastagem e milho em pleno desenvolvimento, indicando presença de pastagem e plantas invasoras. | 129 |
| Figura 11. Vista parcial do segundo experimento. Vacas em pastoreio na pastagem em ponto ótimo de repouso. | 130 |

LISTA DE TABELAS

| | |
|--|----|
| Tabela 1. Produção de milho planta inteira para silagem (t MS ha ⁻¹), solteiro ou em policultivo, conforme tratamento e autor..... | 40 |
| Tabela 2. Número de estabelecimentos, dos 22 participantes, na região Oeste de Santa Catarina que fornecem ração (R) e silagem (S)..... | 53 |
| Tabela 3: Área de plantio, produção de silagem e % de área de silagem, em 21 estabelecimentos do Oeste de Santa Catarina, na safra 2014/15. | 57 |
| Tabela 4. Número (n) de estabelecimentos, entre os 21 participantes da pesquisa, que adotam as referidas práticas para a produção de silagem no Oeste de Santa Catarina..... | 58 |
| Tabela 5. Produção de silagem (t MS ha ⁻¹) e o uso de agrotóxicos no cultivo do milho safra e safrinha 2014/15, no Oeste de Santa Catarina. | 60 |
| Tabela 6- Produção de silagem (t MS ha ⁻¹) em 21 estabelecimentos do Oeste de Santa Catarina, de acordo com o uso ou não da análise de solo para recomendação de adubação em milho. | 61 |
| Tabela 7: Fonte e quantidade de nitrogênio (N), fósforo (P ₂ O ₅) e potássio (K ₂ O) aplicado em cada tratamento e safra (Kg ha ⁻¹) | 70 |
| Tabela 8. Produção de MPInt (t MS ha ⁻¹), custo variável (CVa) em R\$ t ⁻¹ , energia demandada (ENd) e produzida (ENp) em MJ ha ⁻¹ ano ⁻¹ , eficiência da energia (EE), emissão de GEE em Kg CO ₂ -eq ha ⁻¹ ano ⁻¹ , e intensidade de GEE (iGEE) em g CO ₂ -eq MJ _{produzido} ⁻¹ , na produção de milho planta inteira em área de cultivo de milho em pastagens perenes polifíticas, nas safras 2014/15 e 2015/16. | 76 |
| Tabela 9. Componentes químicos do solo, segundo profundidade de coleta e tratamento, em solo localizado no município de Santa Helena, SC. Média de dois anos..... | 77 |
| Tabela 10. Produção de t MS ha ⁻¹ , Custo variável (CVa) em R\$ t ⁻¹ , energia demandada (ENd) e produzida (ENp) em MJ ha ⁻¹ ano ⁻¹ , eficiência da energia (EE), emissão de GEE em Kg CO ₂ -eq ha ⁻¹ ano ⁻¹ , e intensidade de GEE (iGEE) em g CO ₂ -eq MJ _{produzido} ⁻¹ , na produção de milho planta inteira e pastagem em área de cultivo de milho em pastagens perenes polifíticas, nas safras 2014/15 e 2015/16. | 81 |
| Tabela 11. Produção de fitomassa de pastagem e de leguminosas conforme tratamento em área de plantio de leguminosas sobre gramíneas, no período das chuvas, em Cuba, aos 85 dias após o plantio..... | 92 |

| | |
|---|----|
| Tabela 12. Concentração de N, Ca, Mg, cinzas e FDN (% da MS), da gramínea e das leguminosas em área de plantio de leguminosas sobre pastagens perenes, aos 85 dias após o plantio..... | 93 |
| Tabela 13. Acúmulo Ca, N, P, Mg, cinzas e FDN, na fitomassa das plantas de cobertura de da gramínea e das leguminosas em área de plantio de leguminosas sobre pastagens perenes, aos 85 dias após o plantio | 94 |
| Tabela 14. Resistência à penetração (Mpa) medida por penetrômetro manual, conforme profundidade e época, em área de plantio de leguminosas sobre pastagens perenes, em Cuba..... | 95 |
| Tabela 15. Número de indivíduos da macrofauna do solo conforme ordem ($n^{\circ} m^{-2}$), época e profundidade de amostragem, em área com plantio de leguminosas sobre pastagem de gramíneas perenes..... | 96 |

LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

BCC = Blocos completamente casualizados
CAPES - Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior
Cfa - clima temperado húmido com verão quente
Cfb - clima temperado húmido com verão temperado
CH₄ – gás metano
CNPq - Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico
CO₂ – Dióxido de carbono
CO₂-eq – equivalente em dióxido de carbono
COS - Carbono orgânico do solo
Da - Densidade aparente
EE – Eficiência energética
EEIH - Estação Experimental de Pastos e Forragens “Índio Hatuey”, Cuba.
FAPESC - Fundação de Apoio à Pesquisa Científica e Tecnológica do Estado de Santa Catarina
FDA - Fibra em detergente ácido
FDN - Fibra em detergente neutro
GEE - Gases de efeito estufa
Gt CO₂ eq ano⁻¹ – giga (10⁹) tonelada de dióxido de carbono.
ha - hectare (10.000m²)
iGEE – intensidade de emissão de GEE (CO₂ eq MJ_{produzido}⁻¹)
L - litro
LCG – Leite corrigido pela gordura
LCPG - Leite corrigido pela proteína e gordura
LETA – Laboratório de etologia aplicada e bem-estar animal
m - metro
m² - metro quadrado
m³ -metro cúbico
MJ – Megajoules (10⁶ joules)
MO - Matéria Orgânica
MS - Matéria seca
MV - Matéria verde
N - Nitrogênio
N₂O – Óxido nitroso
ONGs - Organizações não governamentais
P - Fósforo
PB - Proteína bruta

PD - Plantio direto

PRV - Pastoreio Racional Voisin

SC – Estado de Santa Catarina

SE - Erro Padrão da média

SILP – Sistema de integração lavoura-pecuária

t - tonelada

UGV – Unidade de gado maior (500 kg de peso vivo).

V - Volume

Vi - Volume do extrato inferior do silo

Vm - Volume do extrato intermediário do silo

Vs - Volume do extrato superior do silo

Vt - Volume total do silo.

SUMÁRIO

| | |
|---|-----------|
| I. INTRODUÇÃO | 21 |
| I.I. PRODUÇÃO E USO DA SILAGEM E GRÃOS NA ALIMENTAÇÃO DE BOVINOS..... | 21 |
| I.II. O LETA E O PRV..... | 23 |
| I.III. E ASSIM SURGE O PROJETO DA TESE | 24 |
| II. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA..... | 27 |
| II.I. USO DA SILAGEM E GRÃOS NA ALIMENTAÇÃO DE BOVINOS | 27 |
| II.II. PRODUÇÃO DE MILHO PARA SILAGEM E GRÃOS..... | 29 |
| II.II.I. A produção em policultivos | 31 |
| II.II.II. Estratégias para diminuir a competição sobre o milho..... | 35 |
| II.II.III. A emissão de GEE e uso de energia na produção de milho | 36 |
| II.II.IV. A produtividade do milho | 39 |
| II.III. AGROECOLOGIA E ECOLOGIA | 41 |
| III. OBJETIVO GERAL | 45 |
| III.I OBJETIVOS ESPECÍFICOS..... | 45 |
| IV. HIPÓTESES | 46 |
| Capítulo 1. CARACTERIZAÇÃO DA PRODUÇÃO E DO USO DE SILAGEM POR PRODUTORES DE LEITE NO OESTE DE SANTA CATARINA. | 47 |
| 1.1. INTRODUÇÃO | 49 |
| 1.2. MATERIAL E MÉTODOS | 50 |
| 1.3. RESULTADOS E DISCUSSÃO | 53 |
| 1.3.1. Dados gerais dos estabelecimentos | 53 |
| 1.3.2. Fornecimento de silagem e ração aos animais..... | 53 |
| 1.3.3. Produção de Silagem | 57 |
| 1.4. CONCLUSÃO | 61 |
| 1.5. AGRADECIMENTO | 62 |
| Capítulo 2 PLANTIO DIRETO DE MILHO EM PASTAGENS PERENES POLIFÍTICAS: SINERGIAS ENTRE DESENVOLVIMENTO AGRONÔMICO, ECONÔMICO E AMBIENTAL | 63 |
| 2.1. INTRODUÇÃO | 65 |
| 2.2. MATERIAL E MÉTODOS | 67 |
| 2.2.1 Local dos experimentos..... | 67 |
| 2.2.2.Primeiro experimento | 68 |

| | |
|---|----|
| 2.2.3. Produção da pastagem, milho planta inteira e milho grãos..... | 70 |
| 2.2.3.1. Estimativa do custo variável de produção de MPInt | 70 |
| 2.2.3.1. Estimativa do uso de energia e emissão de GEE na produção de MPInt | 71 |
| 2.2.4. Segundo experimento..... | 71 |
| 2.2.4.1. Produção de pastagem..... | 72 |
| 2.2.4.2. <i>Características químicas do solo</i> | 72 |
| 2.2.5. Análise estatística..... | 72 |
| 2.3. RESULTADOS..... | 73 |
| 2.3.1. Produção de MPInt, milho grão e pastagem no primeiro experimento | 74 |
| 2.3.2. Custo Variável da produção de MPInt..... | 75 |
| 2.3.3. Uso da energia e emissão de GEE na produção de MPInt | 75 |
| 2.3.4. Produção da pastagem no segundo experimento..... | 75 |
| 2.3.5. Características químicas do solo..... | 76 |
| 2.4. DISCUSSÃO | 77 |
| 2.4.1. Produção de MPInt e pastagem no primeiro experimento. | 77 |
| 2.4.2. Análise econômica e ambiental..... | 79 |
| 2.4.3. Produção de pastagem no segundo experimento..... | 81 |
| 2.4.3. Características químicas do solo | 82 |
| 2.5. CONCLUSÃO | 83 |
| 2.6. AGRADECIMENTO..... | 84 |

Capítulo 3. PRODUÇÃO E QUALIDADE DE FITOMASSA EM PLANTIO DE CANAVIA (CANAVIA ENSIFORMIS L.) E CROTALÁRIA (CROTALARIA JUNCEA L.) SOBRE PASTAGENS PERENES DE PANICUM MAXIMUM E CYNODON spp. 85

| | |
|--|----|
| 3.1. INTRODUÇÃO..... | 86 |
| 3.2. MATERIAL E MÉTODOS..... | 88 |
| 3.2.1. Determinação do crescimento, produção e qualidade da pastagem e das leguminosas | 89 |
| 3.2.2. Avaliação da resistência do solo à penetração (RP) | 90 |
| 3.2.3. Determinação da macrofauna..... | 90 |
| 3.2.4. Análise estatística..... | 90 |
| 3.3. RESULTADOS | 90 |
| 3.3.1. Crescimento da pastagem e das leguminosas..... | 90 |
| 3.3.2. Produção de fitomassa | 91 |
| 3.3.3. Qualidade da fitomassa | 92 |
| 3.3.4. Acúmulo de Ca, N, P, Mg e cinzas..... | 92 |
| 3.3.5. Resistência à penetração | 92 |

| | |
|----------------------------------|------------|
| 3.3.6. Macrofauna | 93 |
| 3.4. DISCUSSÃO | 94 |
| 3.5. CONCLUSÃO | 97 |
| 3.6. AGRADECIMENTO | 98 |
| CONSIDERAÇÕES GERAIS..... | 99 |
| CONCLUSÕES | 105 |
| REFERÊNCIAS | 107 |
| ANEXOS | 127 |
| APÊNDICES | 129 |

I. INTRODUÇÃO

I.I. PRODUÇÃO E USO DA SILAGEM E GRÃOS NA ALIMENTAÇÃO DE BOVINOS

No ano de 1991, a prefeitura municipal de Tunápolis lançou o primeiro programa municipal de incentivo à produção de silagem, com o bordão: “Evite a extra cota, faça silagem” (Anexo A), disponibilizando de forma gratuita, uma forrageira estacionária acoplada a um trator para picar o milho nas propriedades interessadas e, como incentivo especial, ofereceu 25 vagas em uma excursão técnica. Em 1992, a mesma prefeitura adquiriu o segundo trator e ampliou o programa. Outros municípios da região também criaram incentivos semelhantes para confecção de silagem, especialmente na década de 90, sob o argumento de incentivar a produção de leite. Na época, o milho era cortado manualmente, amontoado ao lado dos silos, e em seguida picado em forrageiras estacionárias. A compactação geralmente era feita através de pisoteio humano. Mais adiante, em 1995, foram adquiridas 4 máquinas ensiladeiras automáticas acopláveis a trator, e disponibilizadas aos agricultores, o que facilitou os serviços. Naquele ano 130 agricultores fizeram silagem, num total estimado¹ em 10,8 mil m³. De fato, naquele período a produção de silagem não era significativa no município. No documento elaborado durante a implantação do projeto de microbacias, consta que na área de abrangência da microbacia “Rio Macaco Branco IV” cultivavam-se 1.450 ha de milho, 70 ha de feijão, 110 ha de fumo, 60 ha de mandioca, 100 ha de laranja e as culturas de trigo, soja, limão e arroz de sequeiro ocupam juntas outros 100 ha (TASSINARI et al., 1996). No documento consta ainda: “Estão implantadas na microbacia 280 ha de capineiras, 80 ha de pastagens anuais de verão e 300 ha de pastagens anuais de inverno” (TASSINARI *et al.* 1996, pg 21). A silagem não foi citada, provavelmente por ser insignificante diante das outras atividades. A silagem produzida era para garantir a alimentação nos períodos de falta de pastagens, especialmente durante o inverno, secas ou estações de chuvas prolongadas e assim evitar as oscilações de produção de leite, pois na época se inicia a penalização através de preço diferenciado.

Os incentivos à produção de silagem se estendem até hoje, tanto no auxílio na aquisição de sementes, quanto na realização de serviços com ensiladeiras e retroescavadeiras das prefeituras ou de terceirizados, no

¹Relatório anual conjunto da Secretaria Municipal da Agricultura de Tunápolis e Epagri, 1995.

processo de confecção e na cobertura dos silos, na maioria dos municípios do oeste de Santa Catarina. Além dos incentivos materiais e financeiros, há ainda o incentivo de empresas, cooperativas e técnicos, que operam intensamente na região. Não houve, entretanto, esforços equivalentes para o uso de sistemas de produção sustentáveis, nem para a implantação e manejo de pastagens perenes. De um modo geral, a silagem atualmente é produzida com uso de máquinas e equipamentos, desde o plantio até a ensilagem, com baixo uso de mão de obra. A rápida evolução no uso da silagem nessa região se deve também aos incentivos das políticas públicas, bem como das campanhas das equipes técnicas e comerciais da iniciativa privada. Muitos autores afirmam que a silagem é um dos alimentos mais importantes para a alimentação do gado leiteiro (Ex. KLEINMANS et al. 2016; GUYADER et al. 2017), sendo que nos EUA a área colhida de silagem de milho em 2016 foi de 2,5 milhões de ha (USDA, 2017), enquanto que na Nova Zelândia foi de 65 mil ha em 2015 (KLEINMANS et al. 2016), para citar alguns exemplos. Na safra de 2015/2016, a área de produção de silagem em SC foi de 213 mil ha (EPAGRI/CEPA, 2017), o que mostra a importância desse alimento na produção de carne e de leite.

O fornecimento da silagem também acompanhou essas alterações nos últimos anos, e seu uso muitas vezes é independente da qualidade ou volume de produção de forragem e tem grande variação entre estabelecimentos (BALCÃO et al. 2017; COSTA et al. 2013; KUHNEN et al. 2015). Inúmeros estudos buscam avaliar os efeitos do fornecimento da silagem na produção de carne e de leite, bem como seus impactos econômicos e ambientais. Os resultados, entretanto, não são homogêneos ou lineares, já que dependem, além da qualidade e da quantidade da silagem fornecida, da qualidade e quantidade da forragem e da ração fornecidos na dieta. O fornecimento de oito kg de silagem em combinação com pastagem de baixa qualidade resultou em aumento de 5,3 L de leite dia⁻¹, enquanto que em combinação com pastagem de boa qualidade foi de apenas 1,4 L de leite dia⁻¹ (PÉREZ-PRIETO; PEYRAUD; DELAGARDE, 2011). Através de uma revisão de estudos sobre a silagem, Khan et al., (2015) demonstram que o seu fornecimento na dieta de vacas leiteiras aumenta a ingestão de alimentos (em MS) e a produção de leite por vaca. Apesar dos inúmeros estudos, a quantidade fornecida, recomendada, necessária e viável parece não ser consenso entre os pesquisadores (GREGORINI; GUNTER; BECK, 2008; MORALES et al. 2014).

Apesar da importância da silagem nas mais diferentes regiões produtoras de leite e carne no mundo, poucos estudos mostram como

ocorre sua produção e o fornecimento na prática.

I.II. O LETA E O PRV

Em 1964, o professor Luiz Carlos Pinheiro Machado instala o projeto Alegria, que foi a segunda área de Pastoreio Racional Voisin (PRV) no Brasil, e serviu durante 40 anos para demonstrar na prática as leis de Voisin e foi a base para a difusão da tecnologia para toda a América. O professor Pinheiro, como é amavelmente chamado, está dedicando toda a sua vida aos estudos e a difusão do PRV e de sistemas de produção agroecológicas, e possui um importante apoio no Laboratório de Etologia Aplicada (LETA/UFSC).

O LETA foi criado no ano de 1987, na Universidade Federal de Santa Catarina (UFSC) por iniciativa do Professor Luiz Carlos Pinheiro Machado Filho, completando, em 2017, 30 anos de trabalhos de ensino, pesquisa e extensão, através de colaborações e convênios com outras instituições de ensino e pesquisa, nacionais e estrangeiras, bem como com organizações de agricultores.

Um dos primeiros trabalhos de difusão do PRV realizados pelo LETA foi em 1997, através dos projetos de PRV na propriedade de Eliseu Meyer, e no assentamento Conquista da Fronteira em Dionísio Cerqueira, ambas no Extremo Oeste de Santa Catarina, além da realização de palestras e dias de campo na região.

Alguns anos depois destas e de outras iniciativas, cujos projetos serviram como referência para a difusão da tecnologia, o trabalho com o PRV foi reforçado na região, através do projeto do LETA aprovado no edital MCT/CNPq/MDA/SAF/MDS/SESAN - Nº 36/2007, em convênio com vários municípios da região e com o SEBRAE. Nesta etapa foram elaborados 32 projetos, com participação de estudantes da UFSC e de técnicos da região Oeste de SC, coordenados pelo professor Luiz Carlos Pinheiro Machado Filho.

O PRV também foi difundido para além das fronteiras do Brasil. Além de projetos orientados e instalados na Argentina, Chile, Bolívia, foi em Cuba que o PRV serviu de modelo de produção de leite e carne. André Voisin e Pinheiro estiveram em Cuba, e ministraram cursos, palestras, e instalaram várias unidades de PRV, cujos resultados foram relatadas por Milera *et al.* (2011). Os estudos sobre PRV existentes em Cuba e na UFSC basearam a realização do projeto nº 206/13 no âmbito do programa de Cooperação Internacional CAPES/MES-CUBA entre a UFSC e UNAH (Universidad Agrária de La Havana), que permitiu a troca de experiências e a realização de pesquisas em conjunto, possibilitando que os Professores Pinheiro, Luiz Carlos Pinheiro Machado Filho e Ilyas Siddique

estivessem em Cuba, além de viabilizar a vinda de dois pesquisadores de Cuba ao Brasil e do Doutorado Sanduiche deste autor em Cuba.

O PRV, como tecnologia agroecológica adotada por inúmeros agricultores, com resultados conhecidos, tem sido sugerido como um bom ponto de partida para a transição agroecológica (MACHADO FILHO; HÖTZEL; RIBAS, 2010). Pelas suas características de manejo e formação de pastagem perene polifítica, o PRV constitui-se, ao mesmo tempo, numa ocupação permanente do campo e na rotação de áreas, permitindo que parte das parcelas sejam temporariamente utilizadas para outra finalidade, no caso milho ou outras culturas. Aproveita-se assim as épocas de maior produção de pasto, primavera-verão, para a produção e armazenamento de alimentos e para equilibrar sua oferta ao longo do ano.

I.III. E ASSIM SURGE O PROJETO DA TESE

Diante da publicação da chamada MCTI/MAPA/MDA/MEC/MPA/CNPq Nº 81/2013, que fomenta pesquisa, ensino e extensão da produção agroecológica através da criação de núcleos de agroecologia, o Professor Luiz Carlos Pinheiro Machado Filho apresentou uma proposta inovadora: elaborar um projeto de “plantio de milho, sorgo, soja ou feijão nas pastagens de PRV, para evitar os problemas de degradação ambiental causados pela produção da silagem e de grãos nas propriedades orgânicas ou com interesse em passar a ser orgânicas”. Tendo a equipe do LETA como núcleo central, coordena a elaboração de um projeto interdisciplinar com a participação de doze laboratórios. A equipe tinha uma percepção clara de que o sistema atualmente empregado para a produção de silagem não apresentava viabilidade para uma produção sustentável, muito menos para uma produção orgânica.

O projeto apresentado foi contemplado, e o sistema de produção de milho e de feijão sobre pastagens perenes polifíticas em PRV foi implantado em 4 estabelecimentos rurais, com resultados satisfatórios, conforme consta no relatório do projeto. Entretanto, como em todos os processos de desenvolvimento de uma nova tecnologia, ou da quebra de algum paradigma, a proposta também despertava dúvidas quanto a viabilidade entre um grande número de pessoas externas ao projeto.

A partir das discussões, dificuldades e acertos na implantação desses 4 projetos, bem como da necessidade de ampliar e aprofundar cientificamente as pesquisas sobre a necessidade e a viabilidade deste novo sistema de produção, surge esta Tese.

A Tese foi elaborada a partir de duas grandes questões: 1) Quais as características da produção e do fornecimento de silagem nos estabelecimentos rurais no Oeste de Santa Catarina, Brasil?; 2) É possível

e viável produzir silagem e grãos através do cultivo de milho em pastagens polifíticas perenes sem uso de herbicidas ou revolvimento do solo e sem degradar a pastagem?

Essas duas questões são abordadas em três estudos na presente tese, se constituindo cada um em um capítulo: O primeiro estudo teve como objetivo descrever os sistemas de produção e fornecimento da silagem praticados pelos produtores de leite no Oeste de Santa Catarina e resultou no capítulo “**Caracterização da produção e do uso de silagem por produtores de leite no Oeste de Santa Catarina**”, e foi aceito para publicação na revista *Semina: Ciências Agrárias*; O segundo estudo teve como objetivo avaliar a viabilidade de produção de silagem e grãos através de indicadores de produção, qualidade, custo financeiro e ambiental, em área com cultivo de milho em consórcio com pastagens polifíticas existentes e resultou no capítulo denominado “**Plantio direto de milho em pastagens perenes polifíticas: sinergias entre desenvolvimento agrônômico, econômico e ambiental**”; O terceiro estudo teve como o objetivo avaliar as alterações das condições do solo e da fitomassa em pastagem formada por *Panicum maximum* e *Cynodon spp.*, através do cultivo de leguminosas visando o cultivo posterior de milho, sem degradar a pastagem, cujos resultados constam no capítulo “**Produção e qualidade de fitomassa em plantio de Canavália (*Canavalia ensiformis* L.) e Crotalária (*Crotalaria juncea* L.) sobre pastagens perenes de *Panicum maximum* e *Cynodon spp.*”.**

A tese é composta também por revisão bibliográfica, considerações finais e conclusões.

II. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

III. USO DA SILAGEM E GRÃOS NA ALIMENTAÇÃO DE BOVINOS

Os primeiros relatos encontrados sobre o uso da silagem para alimentação do gado no inverno datam do ano de 1870. Embora o termo *silage* tenha sido usado pela primeira vez na França, em 1870, a prática de armazenar pasto verde já fora relatado por John Symonds, em 1786 (MILES, 1889). A ensilagem – corte e armazenamento de biomassa em forma de silagem - normalmente tem o objetivo de compensar o déficit de pasto nos períodos de baixa produção, devido à flutuação estacional dos pastos (GOMES et al. 2004; MITTELMANN et al. 2005), e como suplemento para pastagens de baixa qualidade e em períodos de estresse calórico (KAISER; MORAN; PILTZ, 2004). A flutuação estacional da produção de pastagens é influenciada principalmente pelas condições climáticas. No Chile, em zona de clima temperado, por exemplo, a produção pode variar de 10, 37 e 72 kg ha⁻¹ dia⁻¹ no inverno, outono e verão, respectivamente (DEMANET et al. 2015). No mesmo sentido, há uma grande variação da produção em função das características climáticas e do solo na Nova Zelândia e Austrália (CHAPMAN et al. 2009). Esta variação de produção requer uma gestão eficiente na produção, armazenamento e aquisição de alimentos, ou ainda, de variação estacional do plantel, através de manejo reprodutivo articulado com a flutuação estacional das pastagens, e/ou ainda, pela comercialização de animais.

Em muitos casos, a silagem passou a ser uma estratégia para incrementar a produção de leite, independentemente da qualidade da pastagem e das condições climáticas e produtivas (KUHNEN et al., 2015), e desperta grande interesse da pesquisa, já que está correlacionada com o aumento do custo de produção e de impactos ambientais (BACENETTI; FUSI, 2015; BASSET-MENS; LEDGARD; BOYES, 2009), com a produção de leite (PÉREZ-PRieto; PEYRAUD; DELAGARDE, 2011) e também pelo efeito de substituição de outros alimentos, principalmente de pastagens (PENNO et al., 2007).

As quantidades de silagem fornecidas aos animais têm uma ampla variação, de zero (sem fornecimento) até acima de 50% da composição da dieta. Em relação aos grãos, não é diferente. Como exemplo da diferença na composição de grãos na dieta, um estudo realizado na região Oeste, com a finalidade de caracterizar os estabelecimentos com produção orgânica, Honorato et al. (2014) constatou que estes utilizam em média menos de 2 kg de ração por dia por vaca, enquanto que os de sistema

convencional utilizam em torno de 7 kg. Também constatou que os agricultores orgânicos são na sua maioria autossuficientes em produção de grãos para a suplementação. Outro estudo que mostra que a utilização de suplementação é menor nos sistemas orgânicos foi realizado nos Estados Unidos, com 192 fazendas orgânicas, 64 fazendas convencionais sem pastoreio, e 36 fazendas convencionais com pastoreio. A média de consumo de suplementação (*grain*) foi de 5,2; 9,0 e 8,8 kg MS dia⁻¹, respectivamente. Em relação à silagem, estudo realizado entre 2009 e 2011 na Região Noroeste de Santa Catarina mostrou que 50% e 85% dos estabelecimentos forneceram silagem no verão e no inverno respectivamente (BALCÃO et al. 2017). Na mesma região, através de outro estudo, foram encontrados estabelecimentos com sistemas orgânicos que fornecem silagem apenas nas estações da primavera e verão, enquanto que nos sistemas convencionais o fornecimento ocorreu durante todo o ano (KUHNEN et al. 2015).

As respostas de produção de leite em função do fornecimento de silagem encontradas na literatura são muito variadas. Em sistema com pastagem de baixa qualidade, com uso de 0 ou 8 kg de MS de mistura de silagem com farelo de soja (7:1), diminuiu o consumo de pastagem numa taxa de 0,51 kg para cada kg de silagem ingerida, com incremento de 5,3 kg de leite produzido por vaca. Por outro lado, quando as pastagens são de alta qualidade e o mesmo suplemento, as vacas reduziram o consumo de pastagem a uma taxa de 0,75 e o aumento do leite foi de apenas 1,4 kg dia⁻¹ (PÉREZ-PRieto; PEYRAUD; DELAGARDE, 2011). Na Dinamarca, 60 vacas foram divididas em três tratamentos de suplementação e avaliadas durante dois anos. O tratamento que recebeu a suplementação de 8 kg MS dia⁻¹ produziu mais se comparado aos grupos que receberam 3 kg ou zero suplementação. A eficiência da alimentação, entretanto, foi inferior nas vacas que receberam mais suplementação (84%) se comparado aos outros dois tratamentos (97 e 98% respectivamente) (SEHESTED; KRISTENSEN; SOEGAARD, 2003).

Em uma revisão, utilizando dados de 13 estudos, Khan et al. (2015) encontraram um aumento de ingestão de alimento de 2 kg MS dia⁻¹, e um incremento de 1,9 kg de leite produzido dia⁻¹, com aumentos significativos na proteína, gordura e lactose do leite, na presença de silagem. Os autores explicam que o aumento do consumo se deve a diminuição do conteúdo de Fibra detergente neutra (FDN) na composição da dieta. Um outro estudo foi realizado durante o outono no Chile, com 40 vacas da raça Holandês em pastoreio rotativo em azevém (*Lolium perene L.*). Neste estudo, com o fornecimento de 4,5 ou 9,0 kg de silagem como suplementação diária para cada vaca, não foi observado diferença

na produção e composição do leite (MORALES et al. 2014). Embora o estudo não tenha testado um tratamento testemunha sem fornecimento de silagem, esta hipótese não pode ser descartada.

Os resultados apresentados acima mostram que as respostas à inclusão de silagem de milho na dieta dependem da composição da dieta e da capacidade produtiva das vacas. Da mesma forma, a qualidade da silagem, relacionada principalmente ao estágio de maturação do milho no momento da colheita, exercem papel importante nas respostas em termos de produção (KHAN et al. 2015).

A silagem tem alta presença de amido e uma grande variabilidade na sua composição (KHAN et al. 2015). A qualidade, que é um dos principais fatores que influenciam o uso intenso do milho, é afetada principalmente pela maturidade na colheita e genótipo (KHAN et al. 2012). Segundo estes autores, quanto mais avança a maturidade do milho, maior a concentração de fibra em detergente neutro (FDN) e de proteína bruta (PB), enquanto que o teor de amido, que está relacionado com o crescimento dos grãos, cresce até aproximadamente 30 a 35% de umidade da planta. O amido é a fonte de energia metabolizável da silagem de milho, e geralmente considerado a sua característica mais importante. A FDN é a fração do alimento não solúvel em meio neutro (GOERING; VAN SOEST, 1970), lentamente degradável e/ou não degradável no sistema digestivo dos ruminantes, e que representa a porção volumosa. Em média 49% da FDN é digerida no aparelho digestivo dos bovinos, e os outros 51% são excretados pelas fezes (KHAN et al. 2015). Com o avanço da maturação do milho, a razão entre o amido e a FDN diminui (KHAN et al. 2015) diminuindo também a capacidade de ingestão pelos animais.

II.II. PRODUÇÃO DE MILHO PARA SILAGEM E GRÃOS

Como mencionado anteriormente, o uso da silagem cresceu rapidamente nas regiões produtoras de leite. Com a produção não poderia ser diferente, e em Santa Catarina por exemplo, foram produzidos 213 mil ha de silagem na safra 2015/2016 (SANTA CATARINA, 2017). Nos EUA, a área colhida de silagem em 2016 foi de 2,5 milhões de ha (USDA, 2017). Na Nova Zelândia, a área foi de 65 mil ha em 2015 (KLEINMANS et al. 2016), e no Canadá, a produção de silagem de milho vem aumentando rapidamente (GUYADER et al. 2017). Em vários outros estudos, em diversos países, citam que a silagem é um dos principais alimentos para a alimentação utilizada atualmente na produção de leite (AGEGNEHU et al. 2016; HOUSHYAR et al. 2014; PISHGAR KOMLEH et al.,2011; WANG et al. 2015).

O milho é uma das culturas mais utilizadas para a produção de silagem. Além das características já citadas, a capacidade produtiva (NAZLI et al. 2014) e a tradição de cultivo (PAZIANI et al. 2009) fazem da silagem de milho um recurso forrageiro muito importante para a nutrição animal.

Em relação ao sistema de plantio, o SPD está amplamente difundido, e seu uso vem crescendo nos últimos anos. Esse sistema se baseia no não revolvimento do solo e no plantio das culturas em solos com cobertura de palhadas ou plantas de cobertura de solo, e foi um dos pilares centrais de um grande esforço para reverter os impactos devastadores da erosão do solo (FREITAS; LANDERS, 2014). O plantio é realizado através de semeadeiras especialmente desenvolvidas para cortar a palhada existente sobre o solo (LAL; REICOSKI; HANSON, 2007). Neste sistema é importante selecionar boas plantas de cobertura e adotar um bom manejo das mesmas, para conseguir o máximo de cobertura do solo. Quanto maior a cobertura, maior serão os benefícios na diminuição da erosão e na ciclagem de nutrientes (ALVARENGA et al. 2001). O SPD, além de outras práticas, evita o declínio da matéria orgânica (MO) do solo (BOT; BENITES, 2005), pois diminui a erosão do solo em comparação ao cultivo convencional (CAVALIERI et al. 2009), e aumenta o nível de C do solo na superfície (LUO; WANG; SUN, 2010), e assim contribuiu para mitigar o efeito estufa.

A agricultura convencional, com o uso de práticas de revolvimento constante do solo e aplicação de fertilizantes sintéticos, provocou uma drástica diminuição da concentração de MO nos solos agrícolas, como demonstrado por Tilman (1998). Sua recuperação, no entanto, é lenta e necessita a aplicação de várias práticas agrícolas adequadas. A prática do SPD é uma ótima técnica de cultivo para recuperar e proporcionar as condições de acúmulo de MO no solo. Sua utilização, entretanto, não recupera toda MO se não for acrescida de práticas de rotação e de cobertura do solo, além da introdução de outras fontes de MO, especialmente de esterco. O uso de SPD, apesar das inúmeras vantagens sobre o sistema de plantio convencional, também não eliminou o uso de agrotóxicos e fertilizantes.

Não foram encontrados registros na literatura sobre o uso de agrotóxicos e sementes transgênicas no milho para grãos e para silagem adotados pelos agricultores. Entretanto, os números sobre o uso de agrotóxicos e de sementes transgênicas fornecem uma dimensão sobre o emprego desses dois insumos no seu cultivo. A estimativa de uso de agrotóxicos na cultura do milho no Brasil é de 6,8 L ha⁻¹, sendo que os herbicidas representam mais de 80% desse total (ANVISA; UFPR, 2017).

Da área total de milho plantado na safra 2015/2016, 88% foram com variedades transgênicas. Na Argentina, Canadá e EUA, a área plantada com variedades transgênicas representa 97%, 92% e 92% do total do milho, respectivamente. Na União europeia, apenas 4 países liberaram o cultivo de milho transgênicos, e em 2016 representou 17% do total da área plantada (ISAAA, 2016).

Um dos problemas da produção de silagem é a retirada constante de toda a biomassa produzida, resultando em diminuição do C, com magnitude dependente do tipo de solo (BLANCO-CANQUI *et al.* 2006; BLANCO-CANQUI; LAL, 2007, 2008; LAIRD; CHANG, 2013). Em avaliação dos efeitos da retirada dos resíduos do milho na qualidade do solo ao longo de 19 anos, observou-se uma diminuição de 12% do COS e 12,6 no nitrogênio (N) no solo, além de perdas no potencial de mineralização, capacidade de troca de cátions e da agregação do solo, nos 15 cm superficiais (LAIRD; CHANG, 2013). Além da perda da fertilidade, a diminuição de COS afeta a emissão de CO₂ e contribui para o aquecimento global (VAN MIDDELAAR *et al.* 2013). O empobrecimento do solo pode também favorecer o ataque de pragas e doenças, além de resultar em alto custo de produção e altos custos ambientais (RUSSELLE; ENTZ; FRANZLUEBBERS, 2007).

Por outro lado, a integração da pecuária com a lavoura favorece a ciclagem de nutrientes e conseqüentemente uma menor perda de fertilidade e diminuição na necessidade do uso adicional de fertilizantes (RUSSELLE; ENTZ; FRANZLUEBBERS, 2007).

Há inúmeros trabalhos testando diferentes níveis de adubação, cultivares, densidade de plantio para silagem, bem como o uso da silagem na alimentação do gado. Mas, há uma lacuna sobre os níveis de adubação do milho para silagem, uso de agrotóxicos, volume de silagem produzida e fornecida e, métodos de fornecimento praticados nos estabelecimentos. Estes dados são importantes para orientar futuros estudos e políticas públicas sobre este fator.

II.II.I. A produção em policultivos

O cultivo de duas ou mais espécies no mesmo espaço e tempo pode ser chamado de consórcio, policultivo, ou mistura de culturas. As publicações na língua espanhola utilizam as expressões “policultivos” (ALTIERI, 1998a; GLIESSMAN, 2013; TELLO *et al.*, 2013), enquanto que a palavra “consórcio” é mais utilizada quando se trata do cultivo de duas ou mais espécies de grãos, ou quando há uma lavoura de grãos misturada com pastagens (FREITAS *et al.* 2005; VEIGA SILVA; COMIN, 2013). Parece não haver diferença epistemológica entre os termos

“consórcio” e “policultivos”, tanto que no Inglês utiliza-se apenas a expressão *mixed systems*, ou seja, *sistemas mistos (nossa tradução)*. No presente trabalho, optou-se pelo uso das expressões “policultivo”, ou “sistema polifítico” para designar o cultivo de duas ou mais espécies, no mesmo espaço e tempo, por questões puramente estéticos.

Inúmeros são os estudos publicados sobre os sistemas polifíticos, mostrando diversos aspectos e vantagens sobre o monocultivo. As vantagens apresentadas podem ser em relação à produção (MARQUARD et al. 2009; ROSCHER et al. 2005; SANDERSON et al. 2005; TILMAN et al. 2001; VAN RUIJVEN; BERENDSE, 2005), ao aumento da MO (LANGE et al., 2015; STEINBEISS et al., 2008), ao aumento da atividade e da biomassa microbiana (LANGE et al. 2015; STRECKER et al. 2015), ao aumento da ciclagem de nutrientes (GLIESSMAN, 2002), além de melhor adaptação aos efeitos das mudanças climáticas (REICH et al. 2004). Também há um grande volume de publicações que mostram que a competição do milho com plantas espontâneas é fator que pode interferir de forma intensa na sua produtividade. Os efeitos podem ser de diferentes proporções, dependendo da quantidade de plantas, época de germinação da erva em relação à germinação do milho, espécie ou conjunto de espécies de ervas (RAJCAN; SWANTON, 2001), mas também pela capacidade produtiva do sistema (RYAN et al. 2010). A capacidade produtiva tem grande correlação com os níveis de MO do solo, que tendem a ser maiores nos sistemas orgânicos (RYAN et al. 2010) e nos sistemas com cultivos polifíticos (LANGE et al. 2015; STEINBEISS et al. 2008). Em experimento de dois anos, realizado na Pensilvânia, com comparações de cinco níveis de invasoras em áreas com produção orgânica e convencional, Ryan et al. (2010) observaram que a capacidade produtiva da produção orgânica foi maior que a da produção convencional, e que na produção orgânica o milho tolera maior presença de invasoras do que na produção convencional. Os autores concluem que a maior concentração de MO é um dos responsáveis em produzir esses efeitos positivos.

O uso de plantas da espécie Fabaceae (leguminosas) é frequentemente recomendada para integrar os sistemas polifíticos, (ASSMANN et al. 2007; LEDGARD; STEELE, 1992, MILCU et al. 2008). A substituição do N sintético pelo N fixado via simbiose em leguminosas foi objeto de estudo na Nova Zelândia, com quatro misturas de plantas, sempre com a presença de leguminosas. Os autores concluíram que nesta mistura não há necessidade de utilização do N sintético (GOH; BRUCE, 2005). Além das vantagens da diminuição ou eliminação do uso de N sintético, o cultivo polifítico também proporciona maior estabilidade

de produção (TILMAN, 2001). A quantidade de N fixado via simbiose e utilizado pelas plantas é influenciado pela grau de participação de leguminosas nos sistemas polifíticos (LEDGARD; STEELE, 1992; NYFELER et al. 2011), como evidenciam os resultados do experimento realizado com 4 grupos funcionais, com presença de 0 a 100% de leguminosas e diferentes níveis de adubação nitrogenada, (NYFELER et al. 2011). Neste estudo, os autores concluem que a melhor produção é obtida com participação de 40 a 60% de leguminosas. A liberação de nitrogênio pelas leguminosas acontece no solo e acima do solo e varia de acordo com a espécie e o sistema de produção. A transferência no solo acontece através da decomposição das raízes e dos nódulos, enquanto que a parte aérea é transferida, no caso de pastagens, através do retorno dos dejetos dos animais e decomposição da liteira (LEDGARD; STEELE, 1992).

O estudo de longo prazo que vem sendo realizado no experimento “Jena”, na Alemanha, com uso de misturas completas com 60 espécies e mistura restrita com 9 espécies “dominantes” mostra um efeito positivo para a produção nas duas misturas, com incremento de 46,7% a 82,6% sobre a produção em monocultivo (ROSCHEER et al. 2005). Em 2009, Marquard et al. (2009) analisaram os dados do período de 2003 a 2007 do experimento “Jena” e concluíram que o efeito da diversidade de espécies sobre a produção de biomassa é positiva e crescente com o aumento do número de espécies, com um efeito positivo ainda mais forte para o aumento do número de grupos funcionais (GF), com efeitos aditivos de facilitação entre espécies ao longo do tempo.

Em relação ao estoque de carbono no solo, Steinbeiss et al. (2008) perceberam que o C perdido inicialmente pelo revolvimento e implantação de pastagens polifíticas foi recuperado e incrementado nos anos seguintes, com aumento considerável do C na camada de 0 a 20 cm de profundidade. Com base neste estudo baseado no experimento “Jena”, seus autores sugerem que a maior diversidade levará a um maior sequestro de C ao longo do tempo, e conseqüentemente, uma diminuição da emissão de GEE. Outro estudo sobre o efeito da diversidade sobre o estoque de C foi publicado na revista Nature, em 2015, incluindo também a avaliação de atividade microbiana, com dados de 9 anos. Neste estudo, foi confirmado que o aumento do estoque de C no solo, como resultado da riqueza da diversidade de espécies está cada vez mais evidente. Segundo os autores, este incremento é governado pela atividade metabólica dos microrganismos do solo (LANGE et al. 2015).

Apesar das vantagens dos sistemas polifíticos, prevalece a agricultura do monocultivo, sem presença de plantas espontâneas, que são

eliminadas com herbicidas. A busca por lavouras livres de plantas espontâneas e competições impulsionou o uso de agrotóxicos no mundo (GIANESSI, 2013). Preocupados com os impactos negativos dos sistemas de produção, vários pesquisadores buscam aprofundar os conhecimentos sobre os mecanismos envolvidos na competição para encontrar alternativas que diminuam ou evitem o uso de agrotóxicos. Foi o que Vasileiadis et al. (2015) buscaram ao comparar um manejo integrado, com presença de plantas espontâneas, e o manejo convencional, sem presença de plantas espontâneas. Os autores concluíram que a presença de plantas espontâneas no manejo integrado (com menos agrotóxicos) não afetou a produção de grãos (VASILEIADIS et al. 2015).

Em Santa Catarina (Brasil), o uso de plantas de cobertura do solo no inverno, como alternativa de supressão das plantas espontâneas foi pesquisado em, pelo menos, dois momentos. Nestes dois estudos, as coberturas com nabo forrageiro, aveia, centeio, ervilhaca, em diferentes combinações, foram eficientes e proporcionaram uma supressão suficiente para permitir uma ótima produção de milho e de tomate (BONJORNO et al. 2010; KIELING et al. 2009). Como mostram estes estudos, a redução ou eliminação do uso de herbicidas não é impossível.

Da mesma forma que o milho é afetado pela competição com plantas espontâneas, as características morfológicas do milho fazem com este também exerça uma competição sobre as outras plantas e pastagens. O estudo de Severino, Carvalho e Christoffoleti (2006), realizado em Piracicaba, SP, com consórcios de milho com *Bracharias* e *Panicum*, demonstra que estas espécies produzem menos nos consórcios do que em produção solteiro.

A viabilidade da produção de milho para silagem ou para grãos em consórcio com pastagens, implantadas simultaneamente, é real, já que a competição e a facilitação operam em comunidades de plantas (WRIGHT; SCHNITZER; REICH, 2014). O cultivo polifítico, além de promover relações de competição intra e interespecíficas por água, luz e nutrientes, oferece também relações de facilitação (BROOKER et al. 2016), resultando em aumento da capacidade de produção, e melhor aproveitamento dos recursos existentes.

A crescente demanda por serviços ecossistêmicos faz com que a diversificação dos sistemas polifíticos seja essencial (ISBELL et al. 2017). Na sua revisão, estes autores mostram que misturas constituídas estrategicamente aumentam a estabilidade e o volume da produção, contribuem com o aumento dos polinizadores e auxiliam na supressão de ervas espontâneas, pragas e doenças. Os autores alertam, no entanto,

sobre a necessidade de identificar as melhores composições de plantas, além de investimentos no desenvolvimento de equipamentos para manejo dessas composições.

O sistema de produção de bovinos a base de pasto, através do Pastoreio Racional Voisin (PRV) baseia-se em pastagens polifíticas perenes, pastoreados em respeito às quatro leis propostas por Voisin (1981), usando a bosta e urina da vaca como fertilizantes e estimuladores da atividade biológica, com o objetivo de manter ou elevar a fertilidade do solo (MACHADO, 2010). Este sistema vem sendo adotado de forma crescente em Santa Catarina (WENDLING; RIBAS, 2013) e vem ao encontro à redução de impactos ambientais (SEÓ; MACHADO FILHO; BRUGNARA, 2017), e apresenta as condições para o cultivo do milho em área de pastagens instaladas, sem risco de degradação da pastagem.

Os efeitos da competição das pastagens sobre a produção de milho planta inteira (MPInt) têm grande importância quando esta cultura é cultivada em áreas já ocupadas por pastagens perenes polifíticas. Nesses casos, a viabilidade está relacionada com a capacidade competitiva do milho, e do uso de estratégias para favorecer o desenvolvimento do milho.

II.II.II. Estratégias para diminuir a competição sobre o milho

O milho cultivado sobre pastagem polifítica em PRV certamente sofrerá competição por recursos como luz, água e nutrientes, mas também se beneficiará da facilitação e do mutualismo. Entretanto, o tamanho do efeito é de difícil estimativa, tendo em vista os vários fatores ecológicos envolvidos nesse ecossistema. A viabilidade da produção de uma cultura também depende da rapidez e uniformidade da germinação e emergência das sementes, de forma a garantir o acesso à água, luz e nutrientes do solo (GUIMARÃES; DIAS; LOUREIRO, 2008). Existem algumas estratégias para melhorar a capacidade competitiva, especialmente relacionadas a velocidade de germinação e crescimento inicial. Uma delas é o uso de sementes com maior vigor, que têm efeitos diretos no crescimento inicial do milho, bem como na sua capacidade produtiva, quando em competição com outras plantas (DIAS; MONDO; CICERO, 2010). Uma alternativa para antecipar a emergência e diminuir a competição inicial é o pré-acondicionamento ou tratamento pré-germinativo através da imersão das sementes em soluções osmóticas ou em contato com soluções sólidas, por determinado tempo, para que possam absorver água e iniciar os processos metabólicos de germinação (HEYDECKER; HIGGINS; GULLIVER, 1973). Os tratamentos pré-germinativos promovem a sincronização e incrementam a velocidade de germinação, resultando na diminuição do tempo entre o plantio e a emergência, mesmo em condições ambientais

adversas (BUTOLA; BADOLA, 2004).

A técnica de imersão das sementes de milho em água foi testada e avaliada por Wendling et al. (2017) (dados não publicados)². Nesse estudo, realizado em Florianópolis e em Cuba, foi verificado que a imersão das sementes de milho em água durante duas a 24 horas não afetou o índice de germinação, mas diminuiu o tempo entre a semeadura e a emergência. Além disso, verificaram que a imersão das sementes de milho em água pura ou em uma solução de água com 5% de microrganismos eficientes durante duas ou seis horas, é eficiente para iniciar o processo de germinação do milho, e diminuir o tempo entre a semeadura e a sua emergência.

II.II.III. A emissão de GEE e uso de energia na produção de milho

A emissão antropogênica de gases com potencial de aquecimento global, conhecidos como gases de efeito estufa (GEE), teve forte aumento nas últimas décadas. O valor total da emissão de GEE é expresso em CO₂-eq, e representa a quantidade de GEEs, levando em conta o potencial de aquecimento global dos gases emitidos³. A emissão de GEE de 1970 foi estimada em 27 GtCO₂-eq ano⁻¹ e a de 2010 em 49 ± 4.5 GtCO₂-eq ano⁻¹. As emissões antropogênicas têm uma participação de cerca de 50% das causas do aquecimento global (IPCC, 2014). A agricultura representa 14% do total dessas emissões (sem considerar o transporte, a energia indireta e a industrialização dos insumos e produtos da agricultura) (IPCC, 2014). A emissão de CO₂ eq da bovinocultura atingiu 4,6 Gt em 2010, sendo que as principais fontes são o metano (CH₄), o óxido nitroso (N₂O) e o dióxido de carbono (CO₂) (GERBER et al. 2013). A produção de milho participa desta emissão com a emissão de N₂O proveniente principalmente da adubação mineral, e do CO₂ emitido pelo uso da energia, desmatamento e diminuição do C no solo (GERBER et al., 2013; VELLINGA; HOVING, 2011). Além da emissão de gases, a agricultura também tem participação na eutrofização das águas, na perda da fertilidade do solo e na perda da diversidade (BUTCHART et al. 2010; GERBER et al. 2013; ROCKSTRÖM et al. 2009).

A estimativa da emissão de GEE e outras fontes de contaminação

² Artigo em elaboração.

³ Conforme o painel internacional de mudanças climáticas, IPCC 2014, o potencial de aquecimento global para o horizonte de 100 anos é de 28 e 265 t CO₂ para cada t de CH₄ e N₂O emitidos, respectivamente. No IPCC 2013 os valores eram estimados em CH₄ = 34 CO₂eq e N₂O = 298 CO₂eq.

ambiental podem ser realizadas por vários métodos, de acordo com os objetivos, necessidades ou interesses. Um dos métodos muito utilizados é a avaliação do ciclo de vida (ACV). A ACV é um método de estimar e avaliar os impactos ambientais atribuíveis ao ciclo de vida de um produto, tais como a emissão de GEE, eutrofização, acidificação, o esgotamento dos recursos naturais, entre outros. Enfim, permite avaliar e comparar a sustentabilidade ambiental de um produto com outros produtos, ou diferentes sistemas de produção do mesmo produto (REBITZER et al. 2004). Os estudos com o ACV mostram que há grandes variações nos resultados de contaminações ambientais das atividades analisadas. Essas alterações podem vir das diferentes abordagens de avaliação e alocações, bem como dos sistemas produtivos e das diferenças climáticas (SEÓ; MACHADO FILHO; BRUGNARA, 2017). De modo geral, os sistemas baseados em pastagens de boa qualidade e bem manejados emitem menos GEE, como mostra o estudo realizado na Nova Zelândia com a avaliação da produtividade e dos impactos ambientais de 53 fazendas de produção a base de pasto, classificadas em dois grupos: baixa intensificação e alta intensificação. O estudo mostra que o aumento da intensificação leva a um aumento da produção, mas também a um aumento dos impactos ambientais na maioria dos indicadores, e conclui que a melhoria na eficiência do uso das pastagens promete melhorar a sustentabilidade ambiental dos sistemas de produção a base de pasto (CHOBTANG et al. 2016).

Outra ferramenta utilizada para medir a emissão de GEE é o *Farm energy analysis tool* (FEAT). Trata-se de uma planilha eletrônica que permite calcular a emissão de GEE e a eficiência energética⁴ (EE) para monocultivos e policultivos (CAMARGO; RYAN; RICHARD, 2013). Usando esta ferramenta, Giuliano et al. (2016) realizaram a avaliação dos impactos ambientais da produção de milho em grão, com 3 anos de duração e encontraram uma EE de 8,4; 9,1; 6,7 e 7,6 e intensidade de emissão⁵ de GEE (iGEE) de 18,1; 17,6; 24,9 e 20,2 g CO₂ eq MJ produzido⁻¹, para os tratamentos de monocultura de milho convencional, monocultura de milho convencional com baixo uso de insumos, monocultura de milho com plantio direto e rotação de milho/soja/trigo, respectivamente. Resultados semelhantes foram obtidos por Barut, Ertekin e Karaagac (2011) na Turquia, com EE de 8,6; 8,8 e 7,9 nos

⁴ Calculada pela equação: Eficiência da energia = Energia produzida/ energia consumida, desconsiderando a energia utilizada na fotossíntese.

⁵ Calculado pela equação: Intensidade de emissão em em g CO₂-eq MJ ha⁻¹ = emissão total GEE (Kg CO₂-eq ha⁻¹)/energia produzida (MJ ha⁻¹).

tratamentos plantio convencional, plantio direto e cultivo mínimo, respectivamente, e iGEE de 21,5 g CO₂ eq MJ produzido⁻¹ no tratamento de plantio direto e 23 g CO₂ eq MJ produzido⁻¹ nos plantios convencional e mínimo. Em experimento realizado no Brasil, a EE foi estimada de 9,4 a 9,6 para três espaçamentos distintos no cultivo do milho (MARTINS et al. 2015).

A busca pela diminuição da emissão de gases de efeito estufa está recebendo grande atenção nos últimos anos. Foley et al. (2011) sugerem cessar com a expansão da área agrícola, evitar perdas de produtividade, melhorar a eficiência dos recursos utilizados na agricultura e evitar perdas depois da produção, como mecanismos para diminuir a emissão de gases pelo setor agrícola. Outra alternativa que vem sendo sugerida é o uso da integração de lavouras perenes ou anuais com leguminosas, intercaladas com lavouras anuais, conhecido como sistema de integração lavoura pecuária (SILP). O SILP tem como vantagem a menor exigência de fertilizantes sintéticos e conseqüentemente uma diminuição o uso de energia fóssil (CAMARGO; RYAN; RICHARD, 2013). A eficiência desta técnica na diminuição de emissão de GEE é confirmada no estudo de ACV realizado por Yan et al. (2013), comparando o uso de fertilizantes nitrogenados sintéticos ou implantação de trevo branco em fazendas leiteiras da Irlanda. Neste estudo, os autores afirmam que o uso de trevo branco tem a capacidade de reduzir a emissão de CO₂ e N₂O-eq LCGP⁻¹, em sistemas de produção a base de pasto.

O sequestro de C no solo, através da adoção de sistemas e práticas adequadas, também vem sendo muito recomendado para mitigar a emissão de GEE, sendo que as pastagens perenes podem contribuir com o sequestro de 0,6 Gt CO₂-eq ano⁻¹ (GERBER et al, 2013). A importância de adotar a prática correta para sequestrar o C no solo fica mais evidente quando verificamos que, em área de produção de milho para silagem ocorre perda das reservas de C, com conseqüente emissão de CO₂ e N₂O (VELLINGA; HOVING, 2011).

A adoção da agricultura orgânica como forma de diminuir as emissões de GEE também é apresentada como uma das alternativas para diminuir a emissão de GEE. A emissão de CO₂ em fazendas leiteiras orgânicas na Europa foi em média de 1,32 CO₂ eq kg⁻¹ LCG (leite corrigido pela gordura), sendo que a maior contribuição foi da fermentação entérica das vacas, com 33% da emissão total, seguido pela emissão de N₂O das lavouras com 22% do total das emissões (HIETALA et al. 2015). Este estudo não avalia a alteração da concentração do C no solo defendido como importante estratégia para mitigar a soma da emissão de GEE (BELFLOWER et al. 2012; CHOBTANG et al. 2016;

ROTZ et al. 2009).

O uso da silagem, por outro lado, pode colaborar para mitigar a emissão de gases de efeito estufa, através da diminuição da emissão de CH_4 durante a fermentação entérica dos alimentos. Há um consenso de que a razão entre a concentração de amido e de fibras altera a emissão de CH_4 , sendo que quanto maior esta razão, menor será a emissão (HART et al., 2015). O uso da silagem de milho em substituição a alimentos mais fibrosos e com menos amido foi sugerido por vários autores, como uma das alternativas com esse viés. Uma menor emissão de CH_4 pela inclusão da silagem de milho na dieta foi citada por Vellinga e Hoving (2011) como forma de diminuir e substituir a emissão de CO_2 na transformação de pastagens perenes por lavouras de produção de silagem. Entretanto, os estudos realizados até o momento parecem não levar ao consenso. Um exemplo são os resultados publicados por Hart et al. (2015) que indicam que a substituição de silagem de pastagens por silagem de milho não produziu efeito sobre a emissão de CH_4 , apesar de ter aumentado a ingestão total e a produção de leite.

Além de obter produções com eficiência em termos ambientais, garantir que esses alimentos possam ser consumidos pelos seres humanos é fundamental. Neste sentido, os sistemas de produção a base de pasto têm a vantagem de transformar alimentos com alta concentração de fibras em alimento de alta qualidade, como leite e carne, sem competir com o uso de grãos para a alimentação humana (GUYADER et al. 2016). Além disso, possuem custos de produção mais baixos (MURPHY et al. 2017; WHITE et al., 2002), e desta forma, também aumentam a possibilidade de serem consumidos pela população de renda baixa.

II.II.IV. A produtividade do milho

A produtividade do milho para silagem tem grande variação, dependendo do clima, época de plantio, adubação, fertilidade do solo e variedade. Na região Sul do Brasil, a produtividade varia entre 9.24 a 23 t MS ha^{-1} (FLARESSO; GROSS; ALMEIDA, 2000; GENRO et al. 1995; MORAES et al. 2013; NEUMANN et al. 2005; PARIZ et al. 2017; PINHO et al. 2006). Na tabela 1 constam os resultados de algumas das pesquisas realizadas e publicadas nos últimos anos.

A produção de milho em grão também apresenta grande variação. O que merece ser destacado na produção de grãos é o aumento da produção ao longo dos últimos anos, como bem demonstra o documento elaborado pela Emater/RS (2017). Neste relatório, consta que a produção média estadual antes de 1975 não chegava a 1,5 t ha^{-1} , aumentando para aproximadamente 2,0 t ha^{-1} na década de 80. No final da década de 90, a

produção superava os 2.5 t ha⁻¹; em 2015, atingia uma média de mais de 6,5 t ha⁻¹. Nos experimentos realizados, também há grandes variações na produtividade, mas convém citar um experimento realizado com a variedade de milho Fortuna, no ano 2011, em um Latossolo, no município de Chapecó onde se produziu 7 t ha⁻¹ (HEMP et al. 2011).

Tabela 1. Produção de milho planta inteira para silagem (t MS ha⁻¹), solteiro ou em policultivo, conforme tratamento e autor.

| Autor | Local | Tratamento | Produção | Observação |
|------------------------------|-----------------------|--------------------------------------|----------|-------------|
| (DAMIAN et al. 2017) | Santa Maria, RS BR | N 200 kg | 18 | Solteiro |
| | | P ₂ O ₅ 160 kg | 19 | Solteiro |
| | | K ₂ O 120 kg | 20 | Solteiro |
| (PARIZ et al. 2017) | São Paulo, Brasil | Só milho | 13,1 | Solteiro |
| | | Milho+Marandu | 14,3 | Policultivo |
| | | Alt corte 20 cm. | 14,5 | Solteiro |
| | | Alt corte 45 cm | 12,8 | Solteiro |
| (SANTOS et al. 2014a) | Mato Grosso do Sul | 70 dias | 14,5 | Solteiro |
| | | 90 dias | 11,5 | Solteiro |
| | | 110 dias | 8,3 | Solteiro |
| (MORAES et al. 2013) | Santo Antônio, PR | Milho AS32 | 9,24 | Solteiro |
| | | Sorgo | 11,5 | Solteiro |
| (AGEGNEHU et al. 2016) | Queensland, Austrália | Controle | 17,8 | Solteiro |
| | | Biochar | 21 | Solteiro |
| | | Composto | 21 | Solteiro |
| | | B+C | 19,5 | Solteiro |
| (PISHGAR KOMLEH et al. 2011) | Irã | <5 ha | 60,6* | Solteiro |
| | | 5 a 10 ha | 61,8* | Solteiro |
| | | >10 ha | 63,1* | Solteiro |
| (NEUMANN et al. 2005) | PR, Brasil | 0 N | 14 | Solteiro |
| | | 45 N | 19 | Solteiro |
| | | 90 N | 20 | Solteiro |
| | | 135 N | 23 | Solteiro |
| (HOUSHYAR et al. 2014) | Irã | Convencional | 67,3* | Solteiro |
| | | < revolvimento | 71,1* | Solteiro |
| (PAULA et al. 2016) | Dois Vizinhos, PR. | TMI milho | 12,3 | Solteiro |
| | | Milho + Tansânia | 11,4 | Policultivo |

Legenda. *=Produção apresentada em Matéria verde

A produção de milho tem sido majoritariamente realizada com o uso de pesticidas, sementes transgênicas e em monocultura (ANVISA; UFPR, 2012). Consequentemente, ainda provoca contaminação da água e dos alimentos por agrotóxicos (NAVARRO; VELA; NAVARRO, 2007; RIGOTTO; ROCHA, 2014), perda de biodiversidade (BUTCHART et al. 2010), alta emissão de gases de efeito estufa (GEE) (KIM; DALE; KECK, 2014), e alto custo, para que se logrem altas produtividades (COSTA et al. 2015; PISHGAR KOMLEH et al. 2011). Esta situação aponta para a necessidade de estudar novos sistemas de produção mais sustentáveis.

II.III. AGROECOLOGIA E ECOLOGIA

A agroecologia é o estudo integrado da ecologia do sistema alimentar, englobando as dimensões ecológicas, econômicas e sociais (FRANCIS et al. 2008). Com esta definição, os autores acima mostram que a agroecologia é uma ciência, definição que é atualmente mais aceita (ALTIERI, 2002; CAPORAL, 2009; GLIESSMAN, 2013; GUZMÁN, 2001). Mas há também os que defendem outras definições, como: um método ou processo de produção agrícola, que resgata os saberes milenares e os soma aos extraordinários progressos científicos e tecnológicos dos últimos anos (MACHADO; MACHADO FILHO, 2014); é ciência e prática (DE SCHUTTER, 2012). Na revisão na qual os autores Wezel et al. (2009) discutem a origem e a definição de agroecologia, os autores afirmam que a definição tem relação com o local, ou seja: na América (Norte e Latina) o termo refere-se à ciência, movimento e prática, mas que em outras regiões o significado é mais restrito, como no caso da França onde designa tão somente ciência.

A agroecológica busca uma produção ambientalmente amigável, onde os padrões de uso do solo afirmam e reforçam as metas socioeconômicas e culturais dos habitantes. A agroecologia, que vem da ecologia, deve seguir seus conceitos fundamentais, que incluem holismo, diversidade e interdependência (BOHLEN; HOUSE, 2009). Estes princípios incluem aspectos sociais, econômicos e ecológicos (IKERD, 2009). A sustentabilidade é uma condição dos sistemas de produção de alimentos agroecológicos, como definido pelo relatório de Brundtland, em 1987.

Uma produção agroecológica e sustentável deve ter as seguintes características: integralidade; harmonia e equilíbrio; autonomia de gestão e controle; minimização das externalidades nas atividades produtivas; manutenção e potencialização dos circuitos curtos; utilização do conhecimento local vinculado aos sistemas tradicionais de manejo dos recursos naturais; e, pluriatividade, seletividade e complementaridade da

renda (GUZMÁN, 2001).

Um dos principais fatores que podem garantir uma produção sustentável está no manejo correto do solo (LOSS et al., 2010), mantendo seus níveis de matéria orgânica (MO), e a otimização da ciclagem de nutrientes (ALTIERI, 1998a; MACHADO, 2010). O reestabelecimento da MO do solo também é possível através de práticas como: pousio, sistemas mistos de integração lavoura-pecuária com agroflorestas e rotações de culturas (BOT; BENITES, 2005), ou mais eficientemente com adição de dejetos animais ao solo (TILMAN, 1998). Isso pode ser obtido pela adubação orgânica ou por sistemas de criação animal como o PRV (MACHADO, 2010) ou suínos ao ar livre (MACHADO FILHO et al. 2007).

O uso da agroecologia na produção de alimentos no Brasil está longe de ser uma prática comum. Os esforços neste sentido, apesar de serem importantes, não conseguiram, até o momento, fomentar sua ampla aplicação. O estado de conhecimento atual permite avançar para uma produção mais sustentável, adotando as bases e alicerces da Agroecologia (CAPORAL, 2009). Mudar do estado atual da agricultura industrial para uma agricultura agroecológica exige necessariamente iniciar pela mudança mental, com base em conhecimentos teóricos-científicos e reforçados pela prática (MACHADO FILHO; HÖTZEL; RIBAS, 2010).

O PRV é uma das inúmeras formas de produzir alimentos respeitando os princípios agroecológicos, como mostram os estudos realizados por Honorato et al. (2014) e Wendling e Ribas (2013), que corroboram com o proclamado por Machado (2010), ou seja: *O PRV é a melhor forma de produzir leite agroecológico*. É um sistema de manejo do complexo solo-planta-animal que implica em alta lotação, tempo de ocupação inferior a 24 h, com 8 a 10 pastoreios anuais (MACHADO, 2010). Esse manejo promove a diversidade de espécies na pastagem com vários benefícios, como a fixação biológica de nitrogênio (N) pelas leguminosas (ASSMANN et al. 2007). O PRV promove a fertilidade do solo através da deposição regular de dejetos animais e sem seu revolvimento, nem utilização de agrotóxicos (RIGOTTI, 2000), promovendo ainda a biocenose, ciclagem de nutrientes, fixação biológica de nitrogênio, entre outros benefícios (MACHADO, 2010). O PRV vem sendo difundido e aplicado em Santa Catarina. No ano de 2012, foram identificados mais de 120 estabelecimentos que adotavam o PRV no Oeste de Santa Catarina (WENDLING; RIBAS, 2013).

A matéria orgânica do solo é fundamental para a sustentabilidade. No PRV a matéria orgânica fresca de animais e os resíduos de plantas são vistos como as melhores formas de incrementar a MO. O uso de pastagens

perenes, de inverno ou de verão, aumenta a concentração de carbono no solo, se comparado ao cultivo de milho e aveia intercalados (TRACY; ZHANG, 2008). A permanência dos animais na pastagem, com altas cargas instantâneas intermitentes garante a deposição de um grande volume de dejetos num período curto de tempo (MACHADO, 2010), e é a prática agrícola que possibilita a recuperação mais rápida dos solos degradados e a manutenção da fertilidade dos solos (TILMAN, 1998). A remoção de nutrientes das plantas para a produção de leite e carne é pequena se comparado ao que é excretado via urina e bosta. Em estudos publicados a partir 1964 (HUTTON; JURY, 1964; HUTTON; JURY; DAVIES, 1965), demonstraram que a concentração dos nutrientes nos dejetos representa 80%, 66%, 88%, 75%, 80% e 67% do ingerido pelas vacas em lactação para N, P, K, Ca, Mg e Na, respectivamente. Como se vê, o retorno dos dejetos é alto, evitando ainda seu desperdício ou acúmulo em locais impróprios ou em esterqueiras.

Uma boa divisão de área, com alocação de bebedouros de água e plantio de árvores para sombra em cada piquete, se planejados adequadamente, favorecem a distribuição mais homogênea dos dejetos, já que esta nem sempre é uniforme, como mostra o estudo publicado em 2010, com dados obtidos na Alemanha em 1996. Neste estudo, foi analisado o padrão de distribuição dos dejetos dentro de uma parcela com graus de inclinação distintos, e seus reflexos na fertilidade do solo. O estudo mostra que as vacas dejetam preferencialmente em áreas mais planas, o que resulta numa transferência lenta de nutrientes entre a área que não recebe dejetos e a área onde há um acúmulo de dejetos (SCHNYDER; LOCHER; AUERSWALD, 2010). Este estudo mostra a importância de um bom planejamento da divisão de área, e a necessidade de observar eventuais transferências de fertilidade dentro dos piquetes.

Diante das questões levantadas rapidamente neste capítulo, buscamos mostrar a importância da produção que considere, além do volume de produção, os impactos ambientais e econômicos. Tendo em vista também as bases do PRV e as vantagens dos sistemas polifíticos em relação aos monocultivos (LANGE et al., 2015; MARQUARD et al., 2009) e pela necessidade de produzir silagem de forma sustentável, propomos construir a Tese de doutorado com uma perspectiva de produção sustentável de base ecológica, buscando contribuir com conhecimentos para viabilizar um sistema integrado, equilibrado e sustentável de produção de silagem, grãos e pastagens, conforme Figura.

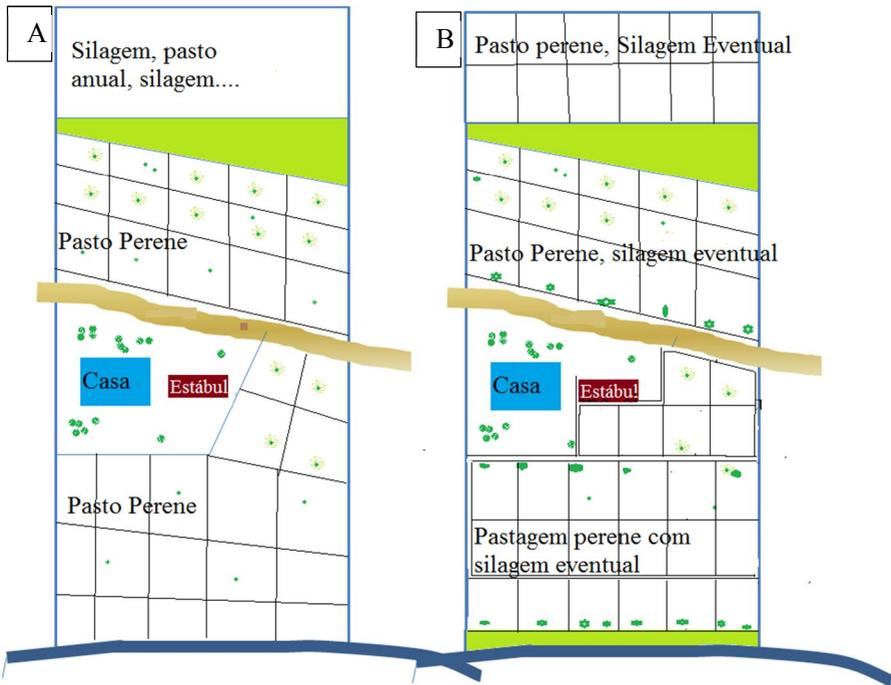


Figura1. (A) Croqui com exemplo da situação atual dos estabelecimentos com produção de leite; (B) Croqui da proposta de integração do cultivo de milho em pastagens perenes.

Nesta proposta toda a área destinada para a atividade leiteira será cultivada com pastagem perenes polifíticas, e dividida em parcelas. A produção de milho ou outra cultura, para produção de silagem, será em algumas parcelas, em policultivo, sem prejuízo para a produção da pastagem.

Fonte: Elaborada pelo autor.

III. OBJETIVO GERAL

Descrever as características da produção e do fornecimento de silagem nos estabelecimentos rurais no Oeste de Santa Catarina e testar a possibilidade e viabilidade de produzir silagem e grãos através do plantio direto de milho em pastagens polifíticas perenes sem uso de pesticidas ou revolvimento do solo e sem degradar a pastagem.

III.I OBJETIVOS ESPECÍFICOS

Caracterizar os sistemas de cultivo da silagem adotados pelos agricultores, em relação aos manejos conservacionistas, uso de fertilizantes e de agrotóxicos e produtividade.

Caracterizar o fornecimento da silagem aos animais nos estabelecimentos do Oeste de Santa Catarina quanto a: volume fornecido, hora do dia do fornecimento e critérios técnicos nos quais os produtores se baseiam para definir o fornecimento.

Avaliar as respostas do milho e da pastagem a diferentes quantidades de adubação mineral ou orgânica e de manejos de plantio, em área de plantio direto de milho sobre pastagens perenes polifíticas.

Avaliar as consequências do plantio direto de milho sobre a produção ulterior da pastagem.

Estimar os impactos ambientais e econômicos em área de plantio de milho sobre pastagens perenes polifíticas.

Avaliar o efeito do cultivo de Canavália e de Crotalária em área de pastagem formada por *Panicum maximum* e *Cynodon spp.*, na produção fitomassa e de macronutrientes.

Avaliar o efeito do cultivo de Canavália e de Crotalária em área de pastagem formada por *Panicum maximum* e *Cynodon spp.*, na resistência a penetração do solo e a macrofauna.

IV. HIPÓTESES

Os métodos utilizados pelos agricultores para a produção de silagem não seguem as recomendações de cobertura do solo, rotação de culturas, e baseiam-se no uso de adubos sintéticos e agrotóxicos em busca da máxima produção.

A silagem é utilizada na maioria dos estabelecimentos, porém sem critérios técnicos e nutricionais definidos.

A produção de silagem e de grãos através do plantio de milho em pastagens perenes polifíticas é viável, com menor custo financeiro e ambiental.

O cultivo de leguminosas em pastagens perenes tropicais aumenta e melhora a qualidade da fitomassa produzida.

Capítulo 1. CARACTERIZAÇÃO DA PRODUÇÃO E DO USO DE SILAGEM POR PRODUTORES DE LEITE NO OESTE DE SANTA CATARINA⁶.

CHARACTERIZATION OF SILAGE PRODUCTION AND THE USE BY DAIRY FARMERS IN THE WEST OF SANTA CATARINA STATE.

RESUMO

A silagem tem sido amplamente utilizada na produção leiteira. Entretanto, há pouca informação sobre como é utilizada e produzida. O objetivo desse estudo foi caracterizar os sistemas de produção e uso de silagem para a atividade leiteira no Oeste Catarinense. Foram selecionados 30 estabelecimentos às cegas em mapa digital, em 11 municípios do Extremo Oeste Catarinense, e convidados para participar da pesquisa. Desses 30 estabelecimentos, 6 não possuíam atividade leiteira e 2 preferiram não participar da pesquisa. Foram então realizadas entrevistas semi estruturadas e visitas *in loco* em 22 estabelecimentos. Os dados foram analisados com o software R versão 3.2.2. 95% dos estabelecimentos produzem e fornecem silagem aos animais. Em 82% das propriedades, a silagem é fornecida às vacas leiteiras durante todo o ano, e em 86% destes o fornecimento é realizado logo após as ordenhas, numa quantidade média de 6.06 ± 0.63 (Erro Padrão) kg de MS (matéria seca) UGM^{-1} (500 kg) dia^{-1} . A área média utilizada para a produção de silagem é de $8,46 ha^{-1}$, representando 59% da área destinada para a atividade leiteira. A produção média de silagem é de 8,8 e $7,6 t ha^{-1} ano^{-1}$ na safra e safrinha respectivamente, sem diferença significativa. Na maioria das áreas de produção de silagem, adota-se o plantio direto, com uso de agrotóxicos, adubação química e sementes transgênicas, sem cobertura do solo ou rotação de culturas. Nos 5 estabelecimentos que adubaram o milho com base na análise de solo, foi alcançada maior produção de silagem, se comparada aos que adubaram sem basear-se na análise do solo. O uso de diferentes tipos de agrotóxicos e quantidade de adubação não apresentaram correlação com o volume de produção de silagem. Em geral, a produção e a quantidade de silagem fornecida aos animais não seguem critérios técnicos, de modo que o rendimento e o uso poderiam ser melhorados através de melhor alocação dos insumos na lavoura.

Palavras Chave: agrotóxico, cultivo de milho, densidade de silagem, leite.

⁶ Artigo aprovado para publicação na revista Semina: Ciências Agrárias.

ABSTRACT

Silage has been widely used in dairy production. However, little is known about its use at production level. The goal of this study was to characterize production and usage of silage for the dairy farming in Western Santa Catarina state. Thirty farms were selected randomly by their geographical location, in 11 municipalities of the West of Santa Catarina state, and they were invited to participate in the research. Out of these 30 farms, 6 did not have any dairy activity, and 2 preferred not to participate in the research, thus were not included. Semi-structured interviews and on-site visits were then performed. All data were analyzed with the software R version 3.2.2. 95% of the farmers produced and fed silage to animals. Out of the 22 farmers participating in the study, 82% provided silage for dairy cows during the whole year; in 86% of these farms, the silage was fed right after milking, in an average amount of 6.06 ± 0.63 kg DM (dry matter) AU⁻¹ (animal unit, 500 kg) day⁻¹. The average area used for corn production was 8.46 ha, representing 59% of the area destined to dairy farming. The average silage production was 8.8 and 7.6 t ha⁻¹ year⁻¹ in the season and off-season crop respectively, without significant differences. In most silage production areas, the no-tillage system is adopted, with the use of pesticides, chemical fertilization and transgenic seeds, without soil covering or crop rotation. Farms that fertilized corn based on soil analysis had the greatest silage yield, compared to the ones that fertilized without relying on soil analysis. The use of different types of pesticides and fertilizer quantities was not correlated to the silage production volume. Overall the production systems and the quantity of silage produced and fed to the cows do not follow technical criteria; thus silage yield and use could be improved if following strategies to better allocate crop inputs.

Keywords: corn cultivation, milk, pesticide, silage density.

1.1. INTRODUÇÃO

Além da pastagem, a silagem de milho é, talvez, o principal alimento fornecido às vacas leiteiras no sul do Brasil. No Oeste de Santa Catarina, uma das mais importantes e crescentes regiões de produção de leite no Brasil (IBGE, 2017), isso não é diferente (BALCÃO et al., 2016; COSTA et al., 2013; HONORATO et al., 2014; KUHNEN et al., 2015). Nesta região, a produção leiteira é caracterizada por uma grande diversidade de sistemas, com diferentes tamanhos, raça e alimentação do rebanho, que podem ser categorizadas em quatro sistemas de produção: o sistema extensivo, o sistema convencional a base de pasto, o sistema semi-intensivo (BALCÃO et al., 2016) e o sistema orgânico (COSTA et al., 2013; HONORATO et al., 2014; KUHNEN et al., 2015). Na categoria "sistema orgânico", a maioria dos estabelecimentos usa o PRV (MACHADO FILHO et al., 2014; WENDLING; RIBAS, 2013), um tipo de manejo intensivo de pastagens.

O uso da silagem para alimentação dos bovinos se dá normalmente com o objetivo de compensar o déficit de pasto nos períodos de baixa produção, devido à flutuação estacional dos pastos (GOMES et al. 2004; MITTELMANN et al. 2005), ou ainda como suplemento para pastagens de baixa qualidade e em períodos de estresse calórico (KAISER; MORAN; PILTZ, 2004). Atualmente, entretanto, o uso da silagem passou a ser uma estratégia para incrementar a produção de leite, em muitos casos, independentemente da qualidade da pastagem e da época do ano (KUHNEN et al. 2015), e desperta grande interesse na pesquisa, já que está correlacionado com o aumento do custo de produção e de impactos ambientais (BACENETTI; FUSI, 2015; BASSET-MENS; LEDGARD; BOYES, 2009), e com a produção de leite pelas vacas (PÉREZ-PRieto; PEYRAUD; DELAGARDE, 2011). Em sistemas de produção à base de pasto, diminui o consumo de pastagem pelo efeito da substituição (PENNO et al. 2007).

O uso da silagem de milho para a produção de leite também é de grande importância em outras regiões do país. Em Santa Catarina, a produção de silagem vem aumentando nos últimos anos, representando aproximadamente 213 mil ha na safra 2015/2016 (SANTA CATARINA, 2017).

Uma das razões para o uso generalizado do milho para a silagem é a produtividade do milho, que grande variação, dependendo do clima, época de plantio, adubação, fertilidade do solo e variedade. O interesse no uso da silagem de milho para bovinos de leite cresceu ultimamente, pelas inúmeras vantagens em relação à outras culturas. Além da maior

produtividade em relação à outras culturas, como por exemplo a cevada, o milho apresenta também maior concentração de energia (GUYADER et al., 2017). Além disso, o uso da silagem de milho para a alimentação do gado, reduz a emissão de CH₄ entérico pelas vacas em 8 a 14%, em comparação com silagem de cevada ou de aveia (BENCHAAAR et al., 2014; VAN MIDDELAAR et al., 2013).

O uso crescente de milho, bem como os efeitos ambientais e nutritivos da produção de silagem em comparação com pastagens, mostra a importância da silagem de milho na bovinocultura. No entanto, falta informações sobre a especificidade de sua produção e uso pelos agricultores. O uso aparente da silagem como estratégia para aumentar a produção de leite e, em muitos casos, independentemente da qualidade da pastagem e do tempo do ano, merece maior investigação. Portanto, o objetivo deste estudo foi caracterizar e entender como a silagem é produzida e as estratégias de seu uso pelos produtores de leite no Oeste Catarinense.

1.2. MATERIAL E MÉTODOS

O estudo foi aprovado pelo comitê de ética em pesquisa com seres humanos da UFSC (CAAE: 51878115.3.0000.0121), e realizado em 11 municípios do Oeste de Santa Catarina⁷, nos meses de abril de 2015 e janeiro de 2016. Foram selecionados 30 estabelecimentos nestes municípios, ao acaso, seguindo os seguintes passos: Dividiu-se a área de abrangência dos 11 municípios pelo número de estabelecimentos a participar do estudo ($1807,33\text{Km}^2/30 = 60 \text{ km}^2$). Em seguida extraiu-se a raiz quadrada do quociente ($\sqrt{60} = 7,7\text{km}$), para definir a distância entre os estabelecimentos a serem selecionados. Esta distância foi transformada em escala proporcional para o “here maps⁸”. A cada distância correspondente, foi marcado um ponto no mapa, e em seguida ajustado para a sede do estabelecimento mais próximo e inserido na ferramenta de GPS “here maps[®]” e visitado. O estudo foi realizado em 22 dos 30 estabelecimentos (Figura 2), pois em seis não havia produção de leite, e dois não aceitaram participar da pesquisa. Todos os estabelecimentos deste estudo estão localizados no Oeste de Santa

⁷ Itapiranga, São João do Oeste, Tunápolis, Iporã do Oeste, Descanso, São Miguel do Oeste, Barra Bonita, Santa Helena, Bandeirante, Paraíso e Belmonte. A área total de abrangência destes municípios é de 1807,3km², com base nos dados de <http://www.sc.gov.br/municipios>, acessado em 05/12/2015.

⁸ Informações sobre o Here Maps podem ser acessadas em: <https://help.here.com/wp8/maps/>

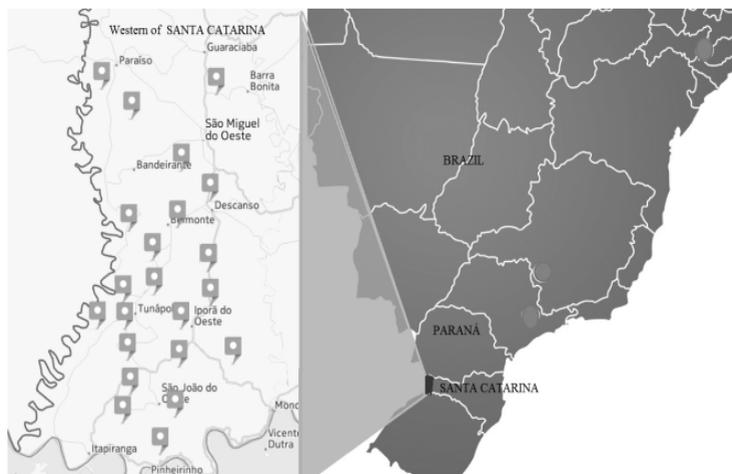


Figura 2. Mapa da do Brasil com destaque a localização dos estabelecimentos participantes deste estudo, no Oeste de Santa Catarina.

Catarina, em clima Cfa e Cfb (ALVARES et al, 2013).

A coleta de dados foi realizada em duas entrevistas em cada estabelecimento, em abril de 2015 e de janeiro de 2016. Em cada visita, foi realizada uma entrevista e verificação dos silos e áreas de cultivo da silagem. As entrevistas foram baseadas em questionários semi estruturados, coletando-se as seguintes informações: dados gerais da propriedade (área, número de vacas, produção de leite, área e manejo das pastagens, uso de raça, regime de alimentação animal); produção da silagem (área utilizada; sistema de plantio; tipo de semente; quantidade e tipo de adubação; quantidade e tipo de agrotóxicos; volume, tipo e cobertura do silo; custo de produção da silagem, motivações do uso da silagem); regime de fornecimento da silagem (quantidade por animal, hora do dia, época do ano, local); regime de fornecimento da ração (quantidade por animal, hora do dia, época do ano, local).

Na primeira visita, foi analisada a área de produção de silagem, e as características e dimensionamento dos silos. Na segunda visita, foram coletadas amostras de silagem para analisar sua densidade e porcentagem de MS. A quantidade de silagem fornecida foi reavaliada.

A estimativa da quantidade de nutrientes aplicados na cultura do milho foi obtida multiplicando-se a quantidade de adubo químico e ou orgânico utilizados, pela sua concentração. Para quantificar os nutrientes dos adubos líquidos de suínos foi utilizado $2,88 \text{ Kg de N m}^{-3}$ (SCHERER;

AITA; BALDISSERA, 1996), 2,4 kg de P m⁻³, e para cama de aves utilizou-se 3% de N e 3% de P, conforme CQFS RS/SC, (2004).

Para estimar a quantidade de silagem produzida, foram tomadas as medidas de todos os silos preenchidos na safra 2014/2015. O volume de cada silo foi calculado através do software SketchUp Pro 2014⁹. Para estimar a densidade das silagens (Ds) e a matéria seca (MS), foram amostrados um silo em cada um de 16 estabelecimentos. Nestes estabelecimentos, havia outros 30 silos que não puderam ser amostrados por estarem vazios ou fechados. Nestes casos, utilizou-se a Ds e a MS do silo amostrado, respectivamente em cada estabelecimento. Em cinco estabelecimentos onde não foi possível amostrar os silos por estarem vazios, foram considerados a Ds e a MS média dos 16 silos amostrados (Ds=549,7 kg m⁻³, e MS= 33%). Em um estabelecimento não se produz silagem.

A coleta de amostras e a estimativa Ds foi realizada em três alturas da face das silagens. Para a parte superior (0 a 30 cm) foi coletada uma amostra a 15 cm da linha superior do silo. Para a parte inferior (do fundo até a metade da altura total do silo), foi coletada uma amostra a 25 cm do fundo do silo, e para a parte intermediária do silo foi coletada uma amostra no meio da face da silagem. As amostras foram coletadas utilizando-se um anel de PVC com 10 cm de diâmetro e 15cm de comprimento, introduzido sob pressão para retirada de um volume conhecido de silagem. O material foi pesado com balança de precisão e a Ds de cada amostra foi calculada, dividindo-se o peso pelo volume da amostra. Em seguida, estas três amostras foram misturadas e uma subamostras de aproximadamente 300 gramas foi enviada ao laboratório para secar em estufa a 60°C durante 72 h, para calcular a MS.

As análises estatísticas foram realizadas através do software R, versão 3.3.2. Os dados referentes à produção, densidade e fornecimento da silagem e ração e da produção de leite apresentaram distribuição normal pelo teste Shapiro-Wilk (SHAPIRO; WILK, 1965). A comparação das médias de produção de silagem em relação ao tipo de agrotóxico e, ao uso de análise de solo foi pelo teste Tukey (p<.05). A comparação das

⁹ Seguiram-se os seguintes passos para cálculo da área do silo tipo “bolo”: a) foi traçado uma linha reta com comprimento igual à largura do silo; b) a partir dos pontos inicial e final da reta, foi traçado uma curva, com a ferramenta “arco de 2 pontos”, com altura igual à altura do silo; c) a área do segmento circular foi visualizada com a ferramenta “informações de identidade” e posteriormente multiplicado pelo comprimento do silo. Já para o silo trincheira, o desenho da “trincheira foi adicionado ao do segmento.

médias de produção de silagem na safra e na safrinha foi pelo teste t ($p < .05$). A análise de regressão linear, da quantidade de silagem e ração fornecidas ($\text{kg de MS cow}^{-1} \text{ dia}^{-1}$) como variável independente e a produção de leite ($\text{t ha}^{-1} \text{ ano}^{-1}$ e $\text{t vaca}^{-1} \text{ ano}^{-1}$) como variável dependente, foi realizada usando o recurso “geom_smooth” do pacote ggplot2 (WICKHAM, 2016).

1.3. RESULTADOS E DISCUSSÃO

1.3.1. Dados gerais dos estabelecimentos

Os estabelecimentos que participaram deste estudo possuem em média uma área de 24,76 ha ($Q1=15,0$; $Q3=28,75$) de terra própria, e 24,2 vacas ($Q1=17,25$; $Q3=29,75$). A produtividade média das vacas no ano de 2014 nestes estabelecimentos foi de 4,36 mil L $\text{vaca}^{-1} \text{ ano}^{-1}$ ($Q1=3600$; $Q3=4680$) enquanto que a produtividade de leite por área ocupada para a atividade foi de 8,83 mil L $\text{ha}^{-1} \text{ ano}^{-1}$ ($Q1=5790$; $Q3=11490$). Esses dados são próximos aos encontrados por Kuhn et al. (2015) e SANTA CATARINA (2016), indicando que os estabelecimentos estudados são representativos da região. Em relação ao tipo de silos, foram encontrados 33 silos do tipo trincheira (29 sem revestimento e quatro com revestimento de alvenaria) e 28 silos do tipo bolo.

1.3.2. Fornecimento de silagem e ração aos animais

Em apenas três dos 22 estabelecimentos pesquisados a silagem é fornecida apenas nos períodos de escassez de pastos (Tabela), como recurso para diminuir os efeitos da flutuação estacional das pastagens. Por outro lado, a ração é fornecida durante todo o ano em 21

Tabela 2. Número de estabelecimentos, dos 22 participantes, na região Oeste de Santa Catarina que fornecem ração (R) e silagem (S).

| Período do ano | R | S |
|--|----|----|
| Para equilibrar a flutuação estacional | - | 3 |
| Durante todo o ano (mais no inverno) | - | 3 |
| Durante todo ano (quantidade uniforme) | 21 | 15 |
| Não fornecem | 1 | 1 |
| Horário do dia | | |
| Após as duas ordenhas | 20 | 19 |
| Após a ordenha da noite | | 1 |
| Durante 24 h por dia (<i>ad libitum</i>) | 1 | 1 |

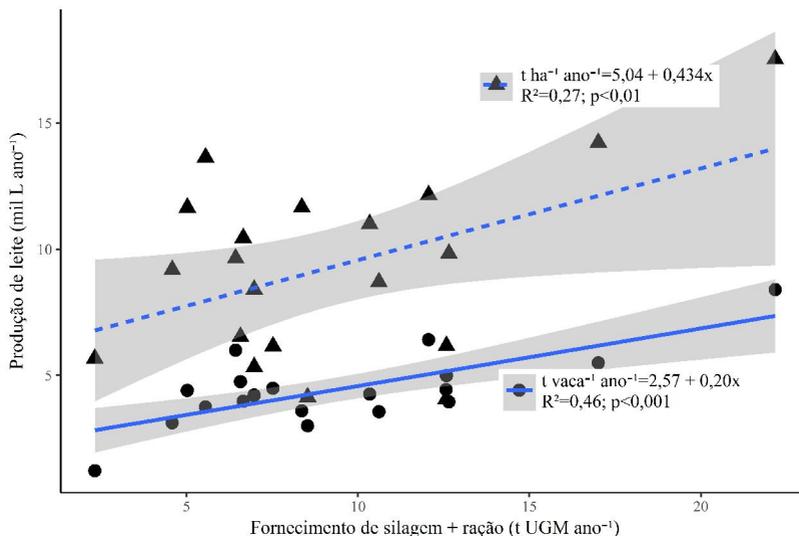
Fonte: Dados da Pesquisa. Elaborada pelo autor

estabelecimentos. Outros estudos recentes mostraram uma tendência do uso da silagem e ração durante todo o ano em sistemas de produção convencional intensivo, e nos períodos de escassez de pastagem nos sistemas orgânico e a base de pasto (KUHNNEN et al., 2015). Na região do Centro Oeste do Paraná, 100% dos estabelecimentos de produção de leite pesquisados fornecem silagem de milho ao longo de todo o ano para animais (SILVA et al., 2015). Em contraste, em Minas Gerais, 77% dos produtores de leite fornecem silagem apenas durante a estação seca, enquanto os outros 23% fornecem durante todo o ano (BERNARDES et al., 2013). Independentemente do sistema de produção, quase todas os estabelecimentos com produção de leite dependem da silagem de milho durante pelo menos parte do ano. Como mostra este estudo, na maioria dos estabelecimentos há um uso generalizado de silagem durante todo o ano, mostrando a relevância do seu uso para o setor leiteiro.

A silagem é fornecida logo após as ordenhas da manhã e da tarde em 21 estabelecimentos. Apenas em um estabelecimento a silagem é fornecida apenas uma vez ao dia. A ração também é fornecida após a ordenha, geralmente com a silagem, na maioria dos estabelecimentos (Tabela 2). O fornecimento da silagem e ração logo após as ordenhas coincide com os horários em que as vacas apresentam maiores eventos de pastoreio (TAWHEEL et al. 2004), e pode afetar a ingestão de pastagem, já que o tamanho do bocado e o tempo de pastoreio é inversamente proporcional ao preenchimento do rúmen (GREGORINI et al. 2008). Portanto, as vacas podem reduzir a ingestão de pastagem dependendo da quantidade e do tempo do suplemento recebido. A pastagem de alta qualidade pode aumentar a taxa de substituição (PENNO et al., 2007), ao passo que oferecendo silagem 2h antes do pastoreio aumenta a taxa de substituição em comparação com as 9h (AL-MARASHDEH et al., 2016).

As quantidades de silagem e ração fornecidas por vaca em lactação ((1 UGM = 500 kg de peso vivo) e por dia foram em média de $6,06 \pm 0,63$ e $3,09 \pm 0,41$ kg de MS, respectivamente, nos 21 estabelecimentos. Há uma grande variação no volume de silagem fornecida diariamente nos estabelecimentos pesquisados. Em 11 estabelecimentos a quantidade de silagem fornecida é menor que 5 kg UGM dia⁻¹, enquanto que em dois é maior que 10 kg UGM dia⁻¹. A quantidade de silagem e de ração fornecida é superior ao encontrado por Kuhnen *et al.* (2015) para o grupo de estabelecimentos com sistema convencional de baixo *input* e do grupo de estabelecimentos com produção orgânica, e inferior ao fornecidos nos estabelecimentos com sistema convencional de alto *input*. Esta diferença pode ser explicada pela amostragem, já que Kuhnen et al. (2015) utilizada oito estabelecimentos e para cada Sistema, enquanto em nosso estudo não

Figura 3 - Regressão de quantidade de silagem + ração fornecida (kg de MS vaca⁻¹ dia⁻¹) na produção de leite por área (t ha⁻¹ ano⁻¹) e por vaca (t vaca⁻¹ ano⁻¹) dos 21 estabelecimentos participantes deste estudo.



Fonte: Elaborado pelo autor

há diferenciação para sistemas de produção.

O fornecimento de silagem + ração teve um efeito positivo na produção de leite por vaca ($y=2,57 + 0,20x$; $p<0,001$; $R^2=0,46$) e por área ($y=5,04 + 0,435x$; $p<0,01$, $R^2=0,27$) (Figura 3). No entanto, esses resultados devem ser avaliados cuidadosamente, já que também foi encontrado uma regressão positiva entre a quantidade de silagem e de ração fornecida aos animais ($y=1,73x$; $p<0,001$; $r^2=0,88$). Como trata-se de um estudo observacional, o produtor que fornece silagem também fornece ração, e as regressões realizadas não “separam” o fornecimento de um e outro, resultando num confundimento das respostas na produção de leite, já que tanto a silagem de milho quanto a ração têm maior concentração nutricional do que as pastagens (NRC, 2001). As respostas de produção de leite encontradas na literatura, em função do fornecimento de silagem, são muito variadas. Alimentando vacas em lactação com 8 kg de MS de uma mistura 7:1 de silagem de milho e farelo de soja, tanto em pastagens de baixa ou de alta qualidade, resultou alteração no consumo de pastagem e na produção de leite. Quando em pastoreio em pastagens

de baixa qualidade, as vacas reduziram seu consumo a uma taxa de 0,51 (diminuição de consumo de pasto (kg MS) para cada kg de suplemento) e aumentaram a produção em 5,3 kg de leite par vaca. Por outro lado, quando as pastagens são de alta qualidade e o mesmo suplemento, as vacas reduziram o consumo de pastagem a uma taxa de 0,75 e o aumento do leite foi de apenas 1,4 kg dia⁻¹ (PÉREZ-PRIETO; PEYRAUD; DELAGARDE, 2011). Do mesmo modo, as vacas que pastoreiam uma pastagem fresca todos os dias sob pastoreio rotacional aumentaram a produção de leite em apenas 1,4 a 1,6 kg de vaca⁻¹ dia⁻¹ em resposta a 5,6 a 6,6 kg (MS) de suplemento diário de silagem (FERRIS et al., 2008).

Neste estudo observamos que a quantidade de silagem e ração não tem como base as necessidades nutricionais das vacas, já que a quantidade ofertada é muito uniforme dentro de cada estabelecimento durante todo o ano, independentemente da produção de leite, do estágio de lactação da vaca ou da pastagem existente, e sem orientação técnica. Em apenas um estabelecimento a nutrição é orientada por profissional habilitado. Ainda assim, neste estabelecimento não se sabia a quantidade de silagem consumida pelas vacas, nem coletivamente, muito menos individualmente. Quando os entrevistados foram questionados sobre os motivos para o uso desta quantidade de silagem, as respostas foram muito variáveis e controversas; o agricultor “JT” disse que fazia muita silagem porque se fizesse pastagem nas áreas muito distantes da sala de ordenha, as vacas gastariam muita energia caminhando, e o agricultor “HG” alegou que é pena produzir pasto em área plana e perto de casa, pois com a silagem consegue obter mais volume. Da mesma forma, as respostas para justificar a quantidade de silagem que está sendo utilizada são discrepantes: Os agricultores “RW” e “GR” alegam que o uso da silagem dá mais estabilidade ao funcionamento do rúmen e à produção de leite, enquanto que o agricultor “CG” diz que usa a silagem para suprir as necessidades de energia na dieta das vacas e, assim, garantir uma boa produção de leite. Nenhum agricultor atribuiu o uso da silagem à possível diminuição da emissão de CH₄.

Estas diferentes respostas mostram um conhecimento heterogêneo sobre o uso da silagem, sugerindo a necessidade de um maior diálogo entre a pesquisa, extensão e agricultores, para um uso mais racional deste alimento. A silagem tornou-se um dos alimentos mais importantes para a bovinocultura de leite no Oeste de Santa Catarina, mas esse fato não veio acompanhado de padrões técnicos. Esta falta de critérios pode causar aumento nos custos de produção, diminuição na resposta de produção em relação à silagem consumida pelos animais e redução da sustentabilidade da atividade.

1.3.3. Produção de Silagem

A produção de silagem está presente em quase todos os estabelecimentos com produção de leite, sendo que a maioria a produz duas vezes ao ano, uma vez na safra e outra na safrinha. Em todas os estabelecimentos estudados, a silagem é feita de milho e ocupa mais de 50% da área designada para a atividade láctea. A ensilagem produzida nas fazendas avaliadas é utilizada internamente. Os dados sobre a área de silagem (safra e safrinha), sobre a porcentagem da área de silagem em relação à área de pastagem, bem como sobre o rendimento da silagem constam na Tabela 3.

Não foram encontrados estudos que avaliassem o volume de silagem produzido por área, por isso a comparação será com estudos que avaliaram a produtividade de milho para silagem, realizados na região sul do Brasil. No processo de ensilagem, que inicia com o corte das plantas e finaliza com o fechamento do silo, pode haver perdas significativas, e de duas origens: as perdas pelo processo de fermentação, que podem variar de 3% a 10% (JOHNSON et al., 2002; KLEINSCHMIT; KUNG JR, 2006; OLIVEIRA et al. 2010), e as perdas físicas, que podem variar de 20 a 34% (MCDONALD, 1991). Carvalho (2013) observou que a grande maioria dos silos apresentava perdas severas por efluentes e uma camada deteriorada na sua parte superior. Em diversos experimentos realizados no estado do Paraná, nas safras de 2000/01, 2002/2003 e 2006/07, foram obtidos produtividades entre 12,8 a 17,5 t ha⁻¹ (LUPATINI et al. 2004), 14,4 a 22,9 t ha⁻¹ (NEUMANN et al. 2005) e 12,0 a 12,5 t ha⁻¹ (CASTOLDI et al. 2011). Em estudo realizado no Sudoeste do Paraná, cujo clima é similar ao encontrado no Oeste de SC, Paula et al. (2016) encontraram uma produtividade média de 12,3 t de MS ha⁻¹ na safra

Tabela 3: Área de plantio, produção de silagem e % de área de silagem, em 21 estabelecimentos do Oeste de Santa Catarina, na safra 2014/15.

| Variável | n* | Média ¹ | EP** | CV% ⁺ |
|--|----|--------------------|------|------------------|
| Área total de silagem (safra + safrinha) (ha) | 21 | 8,46 | 1,18 | 65,4 |
| Produção da silagem na safra (t MS ha ⁻¹) | 21 | 8,77 | 0,49 | 26,3 |
| Produção da silagem na safrinha (t MS ha ⁻¹) | 18 | 7,64 | 0,46 | 28,3 |
| Produção de silagem (média t MS ha ⁻¹) | 21 | 8,21 | 0,43 | 24,8 |
| % área de silagem/área total destinada ao leite | 21 | 59 | 4,83 | 38,3 |

* n= Número de estabelecimentos; **EP = Erro padrão; ⁺CV%= Coeficiente de Variação.

Fonte: Dados da pesquisa. Elaborada pelo autor.

2011/2012. Em outro ensaio no norte do Paraná, foi relatada uma produção de 9,6 t MS ha⁻¹ (MORAES et al., 2013). A média de produtividade milho, em estudo realizado em 7 locais do sul do Brasil, com 21 híbridos, foi de 11,3 a 14,8 t MS ha⁻¹ (MITTELMANN et al., 2005). Considerando uma perda de 30% no processo de ensilagem, os dados obtidos neste estudo se aproximam dos dados da literatura.

Apenas dois estabelecimentos não utilizaram sementes transgênicas para a produção de silagem (tabela 4). Este fato já foi mencionado por Honorato et al. (2014) e Kuhnen et al. (2015) como um dos desafios para viabilizar a produção orgânica, já que não é permitido para produtores orgânicos o fornecimento de alimentos transgênicos aos animais. Por isso, o agricultor orgânico é desafiado a produzir todos os alimentos não transgênicos no seu próprio estabelecimento, além de cuidar da contaminação cruzada com outras lavouras.

Em relação ao sistema de plantio utilizado nos estabelecimentos, observou-se o uso de um sistema com identidade com o “plantio direto sob palha”, mas que difere em sua grande maioria dos estabelecimentos devido à falta de cobertura do solo (Tabela 4). O plantio direto é um método de cultivo sem revolvimento do solo, com presença de cobertura com resíduos das culturas e que pode promover alterações na sua fertilidade (FREIRE et al. 2001). O uso intensivo da terra, segundo opinião dos entrevistados, não está permitindo a manutenção de cobertura

Tabela 4. Número (n) de estabelecimentos, entre os 21 participantes da pesquisa, que adotam as referidas práticas para a produção de silagem no Oeste de Santa Catarina.

| Práticas de plantio | n |
|---------------------------------|----|
| Direto na palha | 8 |
| Direto após pastoreio | 11 |
| Convencional | 2 |
| Rotação de cultivos | |
| Milho-soja | 2 |
| Anual milho-pasto | 11 |
| Bianual milho-milho-pasto | 8 |
| Insumos utilizados | |
| Agrotóxicos na cultura do milho | 20 |
| Semente de milho transgênica | 19 |

Fonte: Dados da pesquisa. Elaborada pelo autor.

de solo adequado no momento do plantio. Em 60% dos estabelecimentos (Tabela 4) o plantio é realizado após o pastoreio da pastagem pelos animais ou em sistema convencional, portanto, sem cobertura do solo. A retirada constante da biomassa produzida também afeta negativamente a qualidade do solo, com diminuição do carbono orgânico do solo (SOC), sendo que a magnitude é dependente do tipo de solo (BLANCO-CANQUI; LAL, 2007, 2008; BLANCO-CANQUI et al. 2006; LAIRD; CHANG, 2013). Substituir pastagens perenes por lavouras de silagem de milho gera uma não recorrente emissão de 913 kg de CO₂ eq t⁻¹ de leite corrigido para proteína e gordura, e contribui para o aquecimento global (VAN MIDELLAR et al 2013).

Em relação à rotação de culturas, foi possível observar que é uma prática pouco utilizada nos estabelecimentos pesquisados. A rotação, com alternância de famílias botânicas, é realizada em dois estabelecimentos (Tabela 4), enquanto que em 11 estabelecimentos os entrevistados responderam que praticam a rotação de culturas, mas sem alterar as famílias botânicas (ex. alternam milho para silagem e pastagem anual de verão, ou seja, uma sucessão de *Poaceaes*). Na maioria dos casos, faz-se silagem sempre sobre a mesma área de terra, e em muitos casos, com duas safras de milho (safra e safrinha), seguido por plantio de pastagem. A ausência das práticas de rotação de culturas pode levar à degradação, através da compactação e da erosão, e a perda de fertilidade, como mostra um experimento de 11 anos sobre os efeitos da falta de rotação de culturas que levaram a uma redução significativa da produção, enquanto que com rotação a produção se manteve estável (LOMBARDI-NETO et al. 2002). A maioria dos agricultores dizem que não fazem rotação de culturas por não possuírem área com aptidão adequada para isso, o que mostra uma certa consciência da necessidade da adoção dessa prática.

O uso de agrotóxicos no cultivo do milho para silagem também é a regra nos sistemas atuais da região, sendo que apenas um estabelecimento não aplicou agrotóxico e em 65% dos estabelecimentos utiliza-se mais de um tipo de agrotóxico, geralmente um ou mais herbicidas, além de inseticidas e fungicidas (Tabela 5). No Brasil, que é o líder mundial no consumo de agrotóxicos, apesar de existir regulamentação de limites máximos de resíduos (LMR) de herbicidas, inseticidas e fungicidas em pastagens utilizadas na alimentação dos animais, há pouca avaliação da existência de resíduos desta natureza no leite consumido pela população (BASTOS et al. 2011). No mesmo estudo, o autor mostra que a presença de resíduos de organofosforados no leite é frequente, enquanto em outro estudo foram encontrados resíduos de agrotóxicos, inclusive em leite orgânico (GRANELLA et al. 2013).

Apesar das perigosas consequências para a família dos agricultores e para os consumidores, seu uso não teve impacto na produção (Tabela 5). O uso de agrotóxicos muitas vezes tem como justificativa uma preocupação grande em manter a lavoura “no limpo”, ou seja, livre de outras plantas, doenças ou pragas, mas não necessariamente impacta na produtividade, dependendo de outros manejos realizados. A presença de plantas espontâneas ou pastagens, o ataque de pragas e doenças, durante o desenvolvimento da cultura do milho, pode não afetar significativamente a sua produção.

A quantidade de Nitrogênio (N) utilizado por cultivo, através de adubação química ou orgânica, varia entre 63 a 373 kg ha⁻¹, sendo que a média foi de 201 kg de N ha⁻¹ na safra, e de 154 kg de N ha⁻¹ na safrinha. A quantidade de N recomendada para a produção de milho ou sorgo para silagem segue a mesma recomendação da produção de grãos, e varia de 30 a 80 kg N ha⁻¹, conforme disponibilidade de MO e cultivo antecessor, para uma produção de até 12 t ha⁻¹. Acima disso, recomenda-se acrescentar 20 kg ha⁻¹ de N para cada t de biomassa (CQFS RS/SC, 2004). Já que a disponibilidade de MO está diretamente correlacionada ao nível de SOC no solo (PRIBYL, 2010), e sua redução implica na necessidade de aumento na dose de adubação nitrogenada, implicando desta forma em maior emissão de N₂O e CO₂.

No nosso estudo, não foi encontrada correlação entre a quantidade de N aplicado e a produção de silagem, nem entre o volume de P₂O₅ e K₂O aplicado e a produção de silagem. Nossos resultados não estão em consonância com o que geralmente é relatado na literatura: uma correlação significativa entre doses de nitrogênio e produção de silagem (DAMIAN et al., 2017; NEUMANN et al., 2005; ZAVATTARO et al., 2012). Esta aparente discrepância provavelmente é explicada pelo fato de

Tabela 5. Produção de silagem (t MS ha⁻¹) e o uso de agrotóxicos no cultivo do milho safra e safrinha 2014/15, no Oeste de Santa Catarina.

| Uso de agrotóxico | Safra | | | Safrinha | | |
|--------------------------------------|-------|--------------------|------|----------|--------------------|------|
| | n | t ha ⁻¹ | SE | n | t ha ⁻¹ | SE |
| Não usa | 1 | 6,7ns | - | 1 | 6,2ns | - |
| Herbicida pré e/ou pós emergente (H) | 6 | 8,0 | 1,00 | 4 | 6,8 | 0,73 |
| H + Fungicida (F) | 8 | 9,2 | 0,83 | 7 | 7,9 | 0,94 |
| H + F + Inseticida | 6 | 9,3 | 0,94 | 6 | 8,1 | 0,97 |

Legenda: SE= erro padrão da média; n= número de estabelecimentos.

Fonte: Dados da pesquisa. Elaborada pelo autor.

que a maioria dos agricultores usava grandes quantidades de fertilizantes, mas não com base em critérios técnicos e orientação.

A falta de critérios para a correta utilização da adubação pode resultar num aumento desnecessário da emissão de GEE, contribuindo para a mudança climática, além de impactar na contaminação das águas. A falta de critérios para basear a adubação do milho para a silagem pode ser constatada neste trabalho (Tabela 6) já que apenas 5 estabelecimentos usam a análise de solo como base para definir a adubação. O uso da adubação baseada em análise do solo resultou em maior produção de silagem, se comparado à adubação sem base na análise do solo, especialmente na safra (Tabela 6). O estudo de Giuliano et al. (2016) mostra que uma redução do uso de adubação nitrogenada e de herbicidas não afetou a produção, mas diminuiu a emissão de GEE e o gasto energético. A análise do solo é um dos principais meios para determinar a necessidade de aplicação de adubos em culturas anuais CQFS RS/SC, 2004). Os efeitos do uso inadequado e excessivo de fertilizantes vão além do custo de produção e, também, impactam no aumento da emissão de gases do efeito estufa (DE BOER et al. 2011) e outras externalidades ambientais.

Tabela 6- Produção de silagem (t MS ha⁻¹) em 21 estabelecimentos do Oeste de Santa Catarina, de acordo com o uso ou não da análise de solo para recomendação de adubação em milho.

| Referente a análise do solo | Safra | | | Safrinha | | |
|--|-------|--------------------|------|----------|--------------------|------|
| | n | t ha ⁻¹ | SE | n | t ha ⁻¹ | SE |
| Seguem a recomendação | 5 | 10.9a | 0,93 | 4 | 9.1a* | 1,16 |
| Só usam para correção do solo | 6 | 7.8b | 0,39 | 5 | 7,3a | 0,69 |
| Não seguem a recomendação ou não fazem análise do solo | 10 | 8.0b | 0,71 | 8 | 7,0a | 0,71 |

*Números seguidos da mesma letra não diferem entre si. Tukey <0,05; n= número de estabelecimentos.

Fonte: Dados da pesquisa. Elaborada pelo autor.

1.4. CONCLUSÃO

A produção de leite no Oeste de Santa Catarina é muito dependente da silagem de milho, mesmo em sistemas de produção de pastagem. Os agricultores parecem depender fortemente da silagem de milho como meio para garantir a disponibilidade anual de alimentos para animais e para aumentar a produção de leite, embora falte critérios técnicos para a

produção e o fornecimento de silagem para vacas leiteiras. Como resultado, há um aumento desnecessário no custo da produção leiteira e potencial contaminação do meio ambiente no Oeste de Santa Catarina. Em geral, os sistemas de produção e a quantidade de silagem produzida e alimentada para as vacas não seguem critérios técnicos; assim, o rendimento da silagem e seu uso poderiam ser aperfeiçoados através de melhores estratégias para de alocação dos insumos.

1.5. AGRADECIMENTO

Agradecemos aos 22 agricultores que colaboraram com as entrevistas e visitas. À FAPESC pela bolsa de estudos do autor. Ao CNPq pela bolsa de estudos do Orientador. Aos colegas do Laboratório de Etologia Aplicada e Bem-Estar Animal (LETA) pelo apoio. Esta pesquisa teve o apoio financeiro do MCTI/MPA/MDA/MEC/MPA/CNPq, chamada nº 81/2013. Aos colegas Ruã Daros e José Bran pela colaboração na revisão e análise estatística, respectivamente.

Capítulo 2 PLANTIO DIRETO DE MILHO EM PASTAGENS PERENES POLIFÍTICAS: SINERGIAS ENTRE DESENVOLVIMENTO AGRÔNOMICO, ECONÔMICO E AMBIENTAL

DIRECT SEEDING MAIZE IN PERENNIAL MIXED-SWARD PASTURES: SYNERGIES AMONG AGRONOMIC, ECONOMIC AND ENVIRONMENTAL PERFORMANCE

RESUMO:

A maior parte das regiões produtoras de leite bovino depende de silagem e grãos de milho para suplementar os rebanhos e equilibrar as diferenças sazonais de produção. Porém, a produção de milho convencional tem altos custos econômicos e gera diversas externalidades ambientais, além de exigir área de terra adicional à pastagem. Com o objetivo de testar a viabilidade de integrar a produção de silagem e grãos através do plantio direto de milho em pastagem perene polifítica sem degradá-la, instalamos dois experimentos. No primeiro, avaliamos os efeitos de diferentes intensidades de corte da pastagem e adubação na produção de milho e pastagem; e estimamos a eficiência energética, a emissão de gases de efeito estufa e os custos variáveis. Comparamos dois procedimentos de corte da pastagem antes da semeadura do milho: roçada a 5 cm acima do solo, e a mesma roçada seguida por uma raspagem da pastagem rente ao solo (0 cm) em 15 cm de largura ao longo da linha de plantio. No segundo experimento, avaliamos as consequências na produtividade das pastagens entre os ciclos do milho, dos tratamentos energeticamente mais eficientes. Ambos experimentos foram realizados em pastagem manejada sob Pastoreio Racional Voisin. No primeiro experimento, a produção de biomassa para silagem (milho planta inteira + pastagem = 9,01 t ha⁻¹ ano⁻¹), e milho em grão (3,75 t ha⁻¹ ano⁻¹) foi maior com adubação química recomendada (AQ) que na adubação com cama de peru (CP) ou testemunha sem adubação (AZ) (p<0,01). Porém, a intensidade de emissão de gases de efeito estufa (iGEE) também foi a maior em AQ comparado com todas as outras adubações (p<0,05). A eficiência energética foi maior em CP, com 24,6 MJ produzidos para cada MJ gasto, seguido por AZ (16,8), a metade (MQ) de AQ (11,9) e AQ (10,2). O custo variável (R\$ t⁻¹) não diferiu entre os tratamentos. Não houve efeito da raspagem da pastagem nem de interação em nenhuma variável avaliada no primeiro experimento. No segundo experimento, houve menor produção de pastagem nos tratamentos com presença de milho, no segundo ano. O acamamento da resteva de milho nestes tratamentos diminuiu a produção início de cada período, mas não provocou degradação da pastagem, que apresentou produção idêntica nos meses seguintes. Houve aumento da concentração de MO no solo na profundidade

de 0 a 0,10 m e diminuição na profundidade de 0,10 a 0,20 m, no segundo ano em relação ao primeiro ano. Conclui-se que o cultivo de milho sob plantio direto em pastagens perenes polifíticas viabiliza a produção de silagem e grãos, com diminuição dos impactos ambientais e produção satisfatória, sem degradar a pastagem, eliminando assim a necessidade de áreas adicionais para esta produção. A redução ou substituição da adubação química por orgânica diminui as externalidades ambientais e aumenta a eficiência energética.

Palavras chave: Custo variável, eficiência da energia, flutuação estacional, GEE, pastoreio racional Voisin.

ABSTRACT

Most cattle-producing regions depend on silage and maize grains to supplement livestock and balance seasonal differences in production. However, the production of conventional maize has high economic costs and generates several environmental externalities, besides requiring an additional land area to the pasture. In order to test the viability of integrating silage and grain production by direct planting of maize in perennial mixed-sward pasture without degrading it, we installed two experiments. In the first, we evaluated the effects of different cutting intensities of pasture and fertilization on maize and pasture production; and we estimated energy efficiency, greenhouse gas emissions and variable costs. We compared two procedures to cut pasture before seeding maize: 5 cm above the ground, and the same cutting followed by a scraping of the pasture close to the ground (0 cm) in 15 cm width along the planting line. In the second experiment, we evaluated the consequences on pasture productivity among maize cycles, of the most energy efficient treatments. Both experiments were done in a pasture managed under Voisin's rational grazing. In the first experiment, biomass production for silage (whole plant + pasture = 9.01 ha⁻¹ year⁻¹) and maize grain (3.75 t ha⁻¹ year⁻¹) was higher with chemical fertilization recommended (CF) than in organic fertilization with turkey bed (OF) or control with no fertilization (NF) (p < 0.01). However, the greenhouse gas emission intensity (GHGi) was also higher in CF than in all other fertilizations (p < 0.05). Energy efficiency was higher in OF, with 24.6 MJ produced for each MJ spent, followed by NF (16.8), half (HF) of CF (11.9) and CF (10.2). The variable cost (R\$ t⁻¹) did not differ among the treatments. There was no effect of scraping nor interaction on any variable evaluated in the first experiment. In the second experiment, there was lower pasture production in treatments with presence of maize in the second year. The lodging of the maize residue in these treatments decreased the initial production of each period, but did not induce the degradation of the pasture, which presented identical production in the following months. There was an increase in the organic matter (OM)

concentration in the soil in the 0 to 0.10 m depth and a decrease in the depth of 0.10 to 0.20 m in the second year in relation to the first year. We concluded that the cultivation of maize under direct seeding in perennial mixed-sward pastures allows the production of silage and grains, reduces environmental impacts and provides satisfactory production, without degrading pasture, thus eliminating the need for additional areas for this production. The reducing or replacing chemical fertilization by organic matter reduces environmental externalities and increases energy efficiency.

Key words: Seasonal fluctuation, animal-vegetable succession, greenhouse effect, energy efficiency, variable cost, Voisin's rational grazing.

2.1. INTRODUÇÃO

O sistema de plantio direto demanda menor uso de energia fóssil (FREITAS; LANDERS, 2014), provoca menor declínio da matéria orgânica do solo (BOT; BENITES, 2005), e oferece menor risco de erosão do solo que o sistema tradicional (LAL, 2000). Entretanto, o plantio direto do milho tem sido majoritariamente realizado com o uso de pesticidas, sementes transgênicas e em monocultura (ANVISA; UFPR, 2012). Consequentemente, ainda provoca contaminação da água e dos alimentos por agrotóxicos (NAVARRO; VELA; NAVARRO, 2007; RIGOTTO; ROCHA, 2014), perda de biodiversidade (BUTCHART et al., 2010), alta emissão de gases de efeito estufa (GEE) (KIM; DALE; KECK, 2014), e alto custo, para que se logrem altas produtividades (COSTA et al., 2015; PISHGAR KOMLEH et al., 2011).

A produção de milho combinado com pastagens, em sistemas de integração lavoura-pecuária (SILP), pode contribuir para a amenizar esses problemas, uma vez que reduz ainda mais a erosão do solo e as emissões de GEE, além de promover a fertilidade do solo (BOENI et al., 2014; MARTIN et al., 2016). Nos experimentos realizados em consórcio de milho com pastagens tropicais, como por exemplo, *Urochloa brizantha*, *U. decumbens*, ou *Panicum maximum*, foram obtidas produções de milho para silagem de 9,5 a 14,3 t MS ha⁻¹. Em alguns casos, a produção no consórcio foi maior que no cultivo solteiro (CECCON et al., 2014; COSTA et al., 2017; PAULA et al., 2016).

A produtividade, os impactos ambientais e o custo de produção do milho vêm sendo bem estudados nos últimos anos, inclusive em consórcio com pastagens em SILP. Esses estudos têm se concentrado na produtividade do milho, que varia conforme variedade (HEMP et al., 2011), níveis de adubação (AGEGNEHU et al., 2016; NEUMANN et al., 2005, 2004), época de plantio (CHIEZA et al., 2017) como também pelas

espécies presentes nos consórcios (COSTA et al., 2017; PAULA et al., 2016; PARIZ et al., 2017). Pesquisas realizadas na região sul do Brasil apresentaram uma variação da produção de biomassa entre 9.6 a 22.9 t MS ha⁻¹ (MORAES et al., 2013; PARIZ et al., 2017).

A maior parte do milho produzido nos estabelecimentos que possuem bovinocultura é destinada para suprir a flutuação estacional das pastagens, decorrente especialmente das condições edafoclimáticas. A silagem é a prática mais usada para armazenar o milho do período de produção abundante e fornecê-lo aos animais nos períodos de escassez de produção de pastagem (BALCÃO et al., 2017; GUYADER et al., 2017; KLEINMANS et al., 2016; KUHNEN et al., 2015; USDA, 2017). Desta forma, o milho é um importante componente alimentar da cadeia produtiva de leite e de carne em todo o mundo, e participa na emissão de GEE especialmente através da emissão do N₂O associado ao uso de fertilizantes e do CO₂ pelo uso da energia (GERBER et al., 2013). Sendo assim, a redução do volume de GEE emitido pela bovinocultura, que somava aproximadamente 4.6 Gt de CO₂-eq ano⁻¹ em 2010 (GERBER et al., 2013), é um dos grandes desafios desta atividade, que pode ser auxiliada pela produção sustentável de milho.

Várias alternativas para diminuir os custos ambientais e financeiros, sem comprometer a oferta de alimentos para a população, têm sido testadas nos últimos anos, entre as quais mencionamos: redução e otimização do uso de fertilizantes minerais, especialmente do N (O'BRIEN et al., 2016); diminuição da renovação das pastagens para evitar a perda de C orgânico do solo (SCHILS et al., 2005), manejo rotativo racional das pastagens como forma de elevar produtividade e aumentar estoque de C orgânico (CONANT et al., 2003, SEÓ; MACHADO FILHO; BRUGNARA, 2017), SILP (MACEDO, 2009), substituição de adubo químico por orgânico (SANTOS et al., 2014b), o plantio direto (PD), e os sistemas polifíticos. Entretanto, o PD do milho em pastagens permanentes sem uso de herbicidas e sem revolvimento do solo ainda foi pouco estudado e continua sendo um grande desafio para a produção sustentável. O uso de sistemas polifíticos (cultivo de duas ou mais espécies na mesma área e tempo) apresenta vantagens sobre as monoculturas quanto à produtividade, à quantidade de matéria orgânica do solo e à estabilidade da produção (SCHERBER et al., 2010; TILMAN, 2001). Os benefícios de aumento de produtividade e regularidade de produção foram confirmados recentemente através de uma meta-análise com 33 estudos (RASEDUZZAMAN; JENSEN, 2017). A viabilidade da produção em consórcio se deve aos mecanismos de facilitação e complementariedade que ocorrem nestes sistemas (DUCHENE et al.,

2017).

Pastagens polifíticas caracterizam o Pastoreio Racional Voisin (PRV), inclusive no Oeste Catarinense (BALCÃO et al., 2017; KUHNEN et al., 2015; WENDLING; RIBAS, 2013). O PRV é um sistema de manejo do complexo solo-planta-animal que implica em alta lotação, tempo de ocupação inferior a 24 h, com 8 a 10 pastoreios anuais e baixo uso de insumos (MACHADO, 2010). Esse manejo promove a diversidade de espécies na pastagem com vários benefícios, como a fixação biológica de nitrogênio pelas Fabaceas (ASSMANN et al., 2007).

Apesar das inúmeras vantagens das alternativas acima citados, entre elas a melhor eficiência no aproveitamento dos recursos (RASEDUZZAMAN; JENSEN, 2017), que resulta em maior produtividade com menor uso de insumos, a preocupação na manutenção ou melhoria da qualidade dos solos continua fundamental. Já há um consenso sobre o acúmulo de C no solo em PD e em SILP (RASEDUZZAMAN; JENSEN, 2017; SANTOS et al., 2008), porém os acúmulos de P, K, Ca, Mg podem variar conforme a rotação de culturas e o manejo do solo (SANTOS et al., 2008), e necessitam de acompanhamento para evitar a degradação do solo, ou mesmo uma poluição ambiental, inclusive quando se busca uma produção com baixo uso de fertilizantes.

A integração das atividades de produção vegetal e animal no mesmo espaço e tempo, e de forma sustentável, é o desafio ao qual pretendemos contribuir com esse trabalho. Nossa hipótese é de que é possível e viável produzir milho em pastagens perenes polifíticas em PRV, sem prejudicar a produção de ambas as culturas, com manutenção ou melhora da fertilidade do solo, aumento de produção de biomassa e diminuição dos impactos ambientais. Portanto, os objetivos deste experimento foram: avaliar a produção de milho cultivado sobre pastagens polifíticas, em dois procedimentos de plantio direto sobre pastagem e quatro adubações, estimando os custos variáveis e ambientais e, avaliando as consequências deste cultivo sobre a produção ulterior da pastagem e sobre as características químicas do solo.

2.2. MATERIAL E MÉTODOS

2.2.1 Local dos experimentos

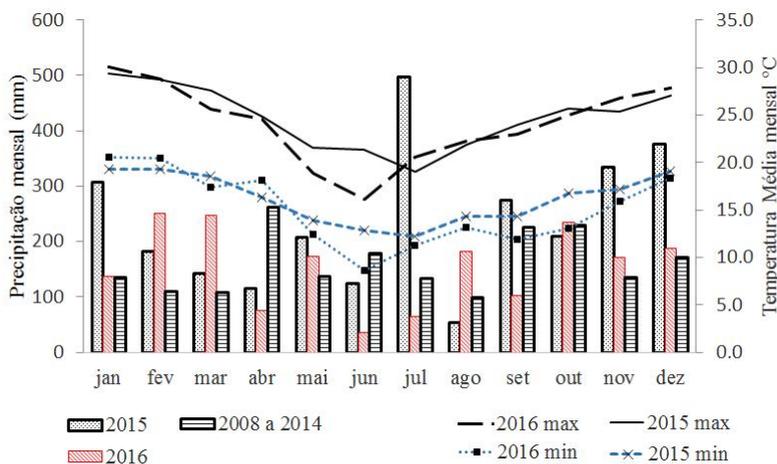
Os experimentos foram implantados em um estabelecimento rural, no município de Santa Helena, SC, localizado a 26°56' S e 53°36' O, com altitude de 480 m, com clima Cfa, na classificação de Köppen (ALVARES et al., 2013). As condições climáticas do período da realização do

experimento, bem como o histórico 2008-2014, constam na Figura 4. O solo é classificado como Cambissolo eutrófico (EMBRAPA SOLOS, 2013; TASSINARI et al., 1996), e a topografia suavemente ondulada. Em análise de solo da área experimental realizada antes do início do experimento (maio de 2013), no Laboratório da Epagri – Chapecó, o solo superficial (0 a 20 cm) apresentou pH em água de 6.1, índice SMP de 6.4, P em Mehlich-1 de 12.6 mg dm⁻³, K em Mehlich-1 de 266 mg dm⁻³; Matéria Orgânica de 3.8%, Al de 0 cmol_c/dm⁻³, Ca de 12 cmol_c/dm⁻³, Mg de 4.3 cmol_c/dm⁻³, com CTC em pH 7.0 de 19.7 cmol_c/dm⁻³ e saturação de bases (V) de 86%. A área vem sendo manejada dentro dos princípios do PRV desde 2009, com a introdução de diversas espécies forrageiras por sobressemeadura: trevo branco (*Trifolium repens* L.), trevo vermelho (*Trifolium pratense*), cornichão (*Lotus corniculatus* L.), aveia (*Avena sativa*), azevém (*Lolium multiflorum*), hemartria (*Hemarthria altissima*), missioneira gigante (*Axonopus catharinensis*) e capim sudão (*Sorghum sudanense*), e que compunham a pastagem no início da implantação deste experimento.

2.2.2.Primeiro experimento

O delineamento experimental foi o de blocos completamente casualizados (BCC), com 6 repetições, num esquema fatorial 2 x 4, sendo dois procedimentos de plantio direto e quatro tipos de adubações no milho. Os procedimentos de plantio testados foram: roçada da pastagem a 0,05 m do solo, sem revolvimento de solo (Roçado normal - RN), e RN seguido de uma raspagem da pastagem rente ao solo (0 m) com 0,15 m de largura ao longo da linha de plantio (Roçado + raspado - RR). As roçadas foram feitas quando a pastagem se encontrava em seu tempo ótimo de repouso, e imediatamente antes do plantio do milho. As adubações testadas foram: orgânica com cama de peru (CP); química recomendada para demanda do milho (AQ); metade da química (MQ); e, adubação zero (AZ), cujas quantidades de macronutrientes aplicados constam na Tabela 7.

Figura 4. Dados climáticos registrados na estação metereológica mais próxima, localizada em São Miguel do Oeste, a 30 km do experimento.



Fonte: Dados do INMET, 2016. Elaborada pelo autor.

A semente de milho utilizada foi a SCS154 Fortuna não transgênica (SANTA CATARINA, 2017), com poder germinativo de 95%. O milho foi plantado nos dias 05/12/2014 e 26/11/2015, com semeadeira de plantio direto modelo KF7/50-A. A adubação química e uma tonelada da orgânica foi incorporada junto ao plantio com a semeadeira, depositando-o abaixo da semente. Quatro toneladas da adubação orgânica foram aplicadas sobre a linha do milho logo após o plantio, sem incorporação. Dois terços do N foram aplicados em cobertura nos tratamentos AQ e MQ, próximo à linha do milho, no estágio V4 do milho.

Cada unidade experimental (UE) foi composta por quatro linhas de milho com nove metros de comprimento cada, com espaçamento 0,78 m entre linhas e 0,192 m entre plantas (66 mil plantas ha⁻¹). A primeira e a última linha, bem como um metro no início e no final das linhas, foram consideradas bordadura. Assim sobraram 72 plantas que foram efetivamente amostradas. A metade da área foi utilizada para amostrar a produção de grãos, e a outra metade para as demais variáveis. Imediatamente após a coleta das amostras de milho em grão, aproximadamente 200 UA ha⁻¹ permaneceram na área durante 12 h para consumir ou acamar a biomassa restante.

Tabela 7: Fonte e quantidade de nitrogênio (N), fósforo (P₂O₅) e potássio (K₂O) aplicado em cada tratamento e safra (Kg ha⁻¹)

| Tratamento | Fonte | Safrá 2014/2015 | | | Safrá 2015/2016 | | |
|------------|---------------|-----------------|-------------------------------|------------------|-----------------|-------------------------------|------------------|
| | | N | P ₂ O ₅ | K ₂ O | N | P ₂ O ₅ | K ₂ O |
| AZ | - | - | - | - | - | - | - |
| CP | Cama de peru | 50 | 100 | 100 | 50 | 100 | 100 |
| AQ | SFT e ureia | 92 | 99 | 0 | - | - | - |
| AQ | Adubo 9-33-12 | - | - | - | 92 | 99 | 36 |
| MQ | SFT e ureia | 46 | 49 | 0 | | | |
| MQ | Adubo 9-33-12 | - | - | - | 46 | 49,5 | 18 |

Legenda: STF=Superfosfato triplo.

Fonte: Elaborada pelo autor.

2.2.3. Produção da pastagem, milho planta inteira e milho grãos

A produção de biomassa da pastagem e do milho planta inteira (MPInt) foi avaliada no estágio vegetativo de grão farináceo duro do milho, que corresponde ao ponto ideal de corte para silagem, nos dias 03/03/2015 e 03/03/2016. Para determinar a produção de MPInt, foram coletadas 10 plantas de milho, selecionadas aleatoriamente dentre as plantas da metade da área destinada para a avaliação da silagem, a 0,20 m do solo, em cada UE. Para determinar a produção de biomassa de pastagem, a pastagem foi coletada em uma área de 0,546 m², delimitados por dois retângulos de 0,78 x 0,35m, posicionados transversalmente à linha do milho, a 0,20 m do solo. As amostras de milho foram picadas após a coleta. Ambas as amostras foram homogeneizadas e pesadas e em seguida secas em estufa com ar forçado a 60 °C durante 72 h, para determinar a matéria seca (MS). Para determinar a produção de milho em grão, em cada UE foram selecionadas aleatoriamente 10 espigas dentre as plantas da metade da área destinada para milho grão, nos dias 02/04/2015 e 05/04/2016. Os grãos foram debulhados e pesados e sua umidade foi corrigida para 13%.

2.2.3.1. Estimativa do custo variável de produção de MPInt

O custo variável (CVa) de produção do MPInt foi apurado através do registro das despesas com sementes, adubos, roçada da pastagem, plantio e adubação, aplicação dos adubos de cobertura, colheita,

transporte interno, FUNRURAL (2,3%), ensilagem e lona, utilizando os preços praticados no estabelecimento, com base na metodologia proposta por CONAB (2010). O custo financeiro foi calculado em 5,5% a.a. sobre o custo dos insumos e serviços, para um período de quatro meses. Os custos de mão de obra, implantação da pastagem já existente na área, além dos custos indiretos e fixos não foram incluídos. Os resultados são expressos em R\$ t⁻¹.

2.2.3.1. Estimativa do uso de energia e emissão de GEE na produção de MPInt

A emissão de GEE (Kg CO₂-eq ha⁻¹), a energia utilizada e produzida (MJ ha⁻¹ ano⁻¹), a intensidade de GEE (iGEE) (equivale a razão entre GEE ha⁻¹ e a energia produzida, expressa em g CO₂-eq MJ_{produzido}⁻¹) e a eficiência energética (energia produzida/energia gasta) foram estimados através da planilha FEAT (*Farm energy analysis tool*), versão 1.2.6, utilizando o banco de dados relativos ao milho para silagem da FEAT. Nesta base de dados, a emissão de GEE como o N₂O e CH₄, são convertidos em kg CO₂eq com base em seus potenciais de aquecimento global de 100 anos (N₂O = 298 CO₂eq; CH₄ = 34 CO₂eq) (IPCC, 2013). A planilha também usa o Nível 1 do Painel Intergovernamental sobre Mudanças Climáticas (IPCC) para calcular as emissões de N₂O diretas e indiretas. As emissões indiretas incluíram N₂O de N volatilizado e lixiviado, assumindo que 1% do N adicionado ao sistema como fertilizante sintético ou resíduo de cultura foi convertido em N₂O. A análise não inclui o uso de energia associado à implantação da pastagem, eletricidade, mão de obra, energia incorporada em máquinas ou outros componentes, nem o estoque de C no solo (CAMARGO; RYAN; RICHARD, 2013)¹⁰.

2.2.4. Segundo experimento

O delineamento experimental também foi em BCC, com 6 repetições, num esquema fatorial 2 x 3, sendo dois períodos e três níveis de fertilização. As duas profundidades de amostras do solo foram consideradas como subdivisão da parcela (Split plot). Os períodos foram: de 03/03/2015 a 25/11/2015 (Período1) e de 03/03/2016 a 06/12/2016 (Período2) correspondendo a 266 e 277 dias respectivamente. Foram testados os resultados da combinação dos tratamentos RN e AZ (RNAZ),

¹⁰ A planilha FEAT pode ser acessada no endereço eletrônico: <http://www.ecologicalmodels.psu.edu/agroecology/feat/>

RN e CP (RNCP), e de uma testemunha adicional sem milho e adubação zero (SMAZ). A pastagem foi pastoreada por vacas leiteiras imediatamente após a coleta das amostras, com taxa de lotação ajustada para consumir até uma altura de 0,05 m do solo em 24 h (MACHADO, 2010). A diferença de duração dos dois períodos se deve à diferença entre os tempos de repouso da pastagem.

2.2.4.1. *Produção de pastagem*

Para determinar a produção da pastagem, cortamos 0,546 m² de pastagem a 0,05 m do solo, delimitados por dois retângulos de 0,78x0,35 m, posicionados transversalmente à linha do milho, sempre no tempo ótimo de repouso da pastagem, totalizando seis cortes no período¹ e sete no período². As amostras coletadas nesses cortes foram homogeneizadas e pesadas. Aproximadamente um terço de cada amostra foi secada em estufa com ar forçado, a 60° C durante 72 h, para determinar a MS. A produção é expressa em t MS ha⁻¹ período⁻¹.

2.2.4.2. *Características químicas do solo*

O solo foi coletado nas profundidades de 0 a 0,10 m e 0,10 a 0,20 m, com trado tipo holandês, com 10 subamostras por UE, no início de cada período (logo após a colheita do milho). O solo coletado foi seco ao ar livre, destorroado e enviado ao laboratório de solos da UFSC em Florianópolis para determinação de: pH, índice SMP, Ca e Mg, P, K, carbono orgânico total (COT) e matéria orgânica (MO). O método utilizado para avaliação dos atributos químicos está descrito em Silva (2009), e é especificado a seguir. O Ca e Mg foram extraídos pelo método KCl e determinado pelo método de espectrofotometria. A extração de P e K foi com solução de Mehlich-1. A determinação da concentração de P foi em Spectrophotometer V-1600, segundo Murphy & Riley (1977) e de K foi em fotômetro de chama. Os teores de COT foram quantificados pelo método de oxidação via úmida, com aquecimento externo, conforme descrito por Yeomans & Bremner, (1988). Os teores de MO foram determinados multiplicando-se os valores de COT por 1.724, conforme Nelson & Sommers (1982). As análises químicas foram em duplicatas, e amostras com erro e *outsiders* foram repetidas.

2.2.5. **Análise estatística**

A análise estatística dos dois experimentos foi realizada com o software R (R CORE TEAM, 2016), versão 3.3.2. Modelos lineares mistos foram ajustados por *Máxima Verossimilhança Restrita* (REML) pelo pacote nlme (PINHEIRO et al., 2016). No primeiro experimento,

consideramos ano e bloco como fatores aleatórios, e os procedimentos de plantio direto e adubações como fatores fixos. No segundo experimento, consideramos bloco como fator aleatório e, período e tratamentos como fatores fixos. Para a análise das características químicas, as duas profundidades foram consideradas uma subdivisão de parcela (Split plot). Modelos iniciais contendo todas as interações possíveis foram otimizados, excluindo os fatores não significativos, até encontrar o modelo com melhor ajuste. No primeiro experimento, o melhor modelo considera a adubação como fator fixo, ano e bloco como fatores aleatórios aninhados. No segundo experimento, para a análise das características químicas, os períodos, os tratamentos e as profundidades foram considerados fatores fixos, sem interação, e bloco como fator aleatório. Para a produção de pastagem, tratamentos e ano foram considerados fatores fixos sem a interação, e bloco como fator aleatório. As médias foram comparadas pelo teste Tukey ($p < 0,05$), com o pacote lsmeans (LENTH, 2016). A normalidade e homogeneidade dos resíduos foram verificadas pelos gráficos QQ e resíduos versus ajustados. Em caso de não atendimento dos princípios, foram transformados pelo comando “boxcox” no pacote MASS (VENABLES; RIPLEY, 2002). Os valores apresentados referem-se às médias dos valores originais.

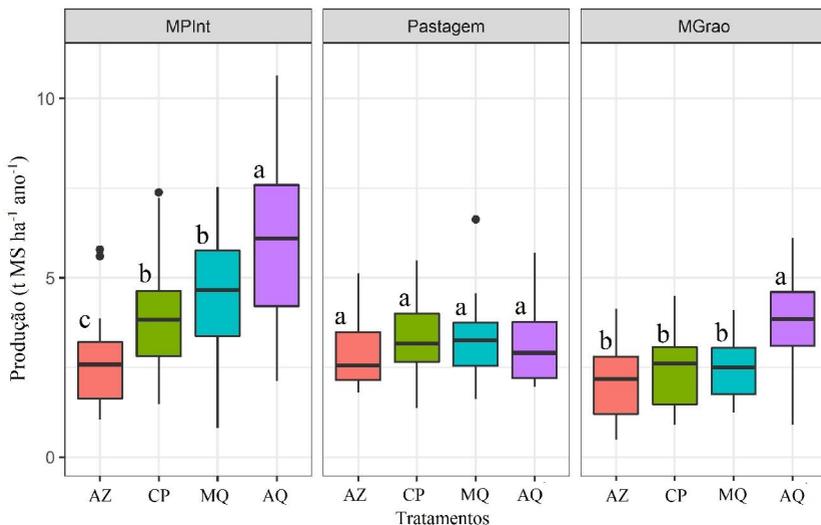
2.3. RESULTADOS

Não houve efeito significativo do procedimento do plantio e nem interação entre a adubação e o procedimento de plantio nas variáveis avaliadas.

2.3.1. Produção de MPInt, milho grão e pastagem no primeiro experimento

Houve efeito significativo da adubação, resultando em maior produção de milho grão ($p \leq 0,001$) e MPInt ($p \leq 0,01$) no tratamento AQ (Figura 5). A maior produção de milho grão foi de 3,75 t MS ha⁻¹ ano⁻¹ em AQ, e sem diferença estatística entre os demais tratamentos (2,53; 2,04; 2,43; nos tratamentos MQ, AZ e CP respectivamente). A produção de MPInt foi maior em AQ, seguida pelos tratamentos MQ e CP entre os quais não houve diferença, e com menor produção, no tratamento AZ (Tabela 2). O acúmulo da produção de pastagem durante o ciclo do milho foi de 3,1 t MS ha⁻¹, sem diferença estatística entre os tratamentos ($P \geq 0,40$).

Figura 5. Produção de milho grão (Mgao), milho planta inteira (MPInt), e de pastagem, durante o ciclo do milho (t MS ha⁻¹). Média das safras 2014/2015 e 2015/2016, em área de cultivo de milho em pastagem perene polifítica, conforme tratamento



Legenda: *= Letras iguais sobre Boxplots significa que não há diferença da produção entre os tratamentos para cada janela. (Tukey, $p < 0,05$). As letras AZ, CP, MQ, AQ no eixo X representam os tratamentos: zero adubo, cama de peru, meia dosagem de adubo químico e adubo químico recomendado, respectivamente.

Fonte: Dados do experimento: Elaborada pelo autor.

2.3.2. Custo Variável da produção de MPInt

Os dados dos CVa de produção do MPInt constam na Tabela 8. Não houve efeito dos tratamentos. O serviço de máquinas representou o maior custo em todos os tratamentos, com 78%, 53% e 59% e 49% do CVa, nos tratamentos AZ, CP, MQ e AQ, respectivamente. O custo com fertilizantes foi a segunda maior despesa para os tratamentos CP (33%), MQ (28%) e AQ (41%). As sementes representaram 11%, 7%, 7% e 5% para os tratamentos AZ, CP, MQ e AQ, respectivamente.

2.3.3. Uso da energia e emissão de GEE na produção de MPInt

Os dados da ENd, ENp, EE, GEE e iGEE constam na Tabela 8. A ENp foi maior no tratamento AQ, seguido pelos tratamentos MQ e CP entre os quais não houve diferença, e com menor produção em AZ ($p<0,05$). A EE foi maior no tratamento CP ($p<0,001$), seguido pelo tratamento AZ ($p<0,01$), e menor nos tratamentos MQ e AQ. O combustível foi a maior fonte de energia consumida nos tratamentos AZ e CP, e a demanda de energia com o uso do N foi a maior fonte nos tratamentos MQ e AQ.

A emissão de GEE diferiu entre todos os tratamentos de adubação ($p<0,001$), sendo maior em AQ, seguido por tratamentos MQ, CP e AZ, nesta ordem. A iGEE também foi maior no tratamento AQ, seguido pelos tratamentos MQ e CP e, com a menor intensidade, em AZ ($p<0,01$). A emissão de GEE proveniente do N foi responsável por 52, 39 e 21 % nos tratamentos AQ, MQ e CP, respectivamente. A emissão de GEE proveniente dos combustíveis foi de 66, 30, 33 e 22 % para os tratamentos AZ, CP, MQ e AQ, respectivamente.

2.3.4. Produção da pastagem no segundo experimento

A produção de pastagem no Período1 não diferiu entre os tratamentos, com uma média de 7,03 t MS ha⁻¹. No Período2, a produção foi maior ($p<0,01$) em SMAZ com 10,7 t MS ha⁻¹, em comparação aos tratamentos RNAZ e RNCP (7,69, 7,58, respectivamente, sem diferença entre estes), e maior que todos os tratamentos no período1 ($p<0,01$). Foi observado um maior crescimento no início dos dois períodos no tratamento SMAZ em relação aos demais tratamentos, e um equilíbrio a partir do segundo e quarto meses no período1 e período2 respectivamente.

Tabela 8. Produção de MPInt (t MS ha⁻¹), custo variável (CVa) em R\$ t⁻¹, energia demandada (ENd) e produzida (ENp) em MJ ha⁻¹ ano⁻¹, eficiência da energia (EE), emissão de GEE em Kg CO₂-eq ha⁻¹ ano⁻¹, e intensidade de GEE (iGEE) em g CO₂-eq MJ_{produzido}⁻¹, na produção de milho planta inteira em área de cultivo de milho em pastagens perenes polifíticas, nas safras 2014/15 e 2015/16.

| Tratamentos | MPInt | CVa ^{1 2} | ENd [*] (a) | ENp ³ (b) | EE ² (b/a) | GEE ¹ (c) | iGEE ² (c/b/100) |
|-------------|-------|--------------------|-------------------------|-------------------------|--------------------------|-------------------------|--------------------------------|
| AZ | 2,64c | 326,00 | 2.920 | 49.258 c | 16,8 b | 429 a | 10,46 a |
| CP | 3,92b | 355,00 | 2.980 | 73.265 b | 24,6 a | 901 b | 14,45 b |
| MQ | 4,44b | 333,00 | 6.960 | 83.152 b | 11,9 c | 1.017 c | 15,4 b |
| AQ | 5,98a | 301,00 | 10.970 | 111.794 a | 10,2 c | 1,570 d | 16,2 c |
| SE | 0,45 | 0,10 | - | 9.010 | 0,15 | 39,59 | 0,11 |

Legenda: ¹ = Custos variáveis + custo financeiro de 5,5% a.a.; ²Análise com dados transformados; ³ Calculados pela planilha FEAT; SE = Erro padrão da média; - = dado não disponível.

As letras AZ, CP, MQ, AQ representam os tratamentos adubação zero, cama de peru, metade da recomendação química e adubação química recomendada, respectivamente.

Números seguidos pelas mesmas letras não diferem entre si, para as colunas, pelo teste Tukey (p<0,05).

Fonte: Dados do experimento. Elaborada pelo autor.

2.3.5. Características químicas do solo

A MO apresentou um aumento de concentração na profundidade de 0 a 0,1 m entre o período1 e o período2, passando de 5,81% para 6,27% (p<0,03), e uma diminuição da concentração na profundidade de 0,1 a 0,2 m, passando de 5,76% no período1 a 5,34% no período2 (p<0,05). Nas demais características do solo não foram observadas alterações entre os dois períodos (p>0,09). Assim os dados médios das características químicas do solo dos dois períodos são apresentados na Tabela 9. O P e a MO apresentaram maiores concentrações na profundidade de 0 a 0,1 em comparação com 0,1 a 0,2 m, em todos os tratamentos. O K também apresentou maiores concentrações na profundidade de 0 a 0,1 m, exceto no tratamento SMAZ, onde não diferiu. As demais características não diferiram entre as profundidades de amostragem.

O pH em água diferiu entre os tratamentos nas duas profundidades, sendo menor no tratamento RNAZ em comparação com os demais. As demais características não diferiram entre os tratamentos.

Tabela 9. Componentes químicos do solo, segundo profundidade de coleta e tratamento, em solo localizado no município de Santa Helena, SC. Média de dois anos.

| Tratamentos | pH H ₂ O | SMP | P mg dm ³ | K | Ca cmolc kg ⁻¹ | Mg | Al | MO % |
|-------------------------------|------------------------|------|-------------------------|--------|------------------------------|------|------|---------|
| Profundidade de 0 a 0,10 m | | | | | | | | |
| SMAZ | 6,07aA | 6,19 | 9,58 aA | 92,4aA | 3,88 | 2,78 | 0,21 | 6,3 aA |
| RNAZ | 5,89bA | 6,19 | 7,19a | 119aA | 4,34 | 2,84 | 0,21 | 6,0aA |
| RNCP | 6,13aA | 6,23 | 9,06aA | 120aA | 4,19 | 2,77 | 0,18 | 5,9aA |
| Profundidade de 0,10 a 0,20 m | | | | | | | | |
| SMAZ | 6,03aA | 6,08 | 6,35aB | 72,1aA | 3,88 | 2,78 | 0,21 | 5,8 aB |
| RNAZ | 5,82bA | 6,18 | 5,99aB | 83,7aB | 4,34 | 2,84 | 0,21 | 5,6aB |
| RNCP | 5,97aA | 6,23 | 6,07Ab | 75,7aB | 4,19 | 2,77 | 0,18 | 5,3aB |

Legenda: Números seguidos de letras diferentes diferem entre si pelo teste Tukey ($p < 0,05$). As letras minúsculas comparam os tratamentos dentro da mesma profundidade e letras maiúsculas, as profundidades dentro do mesmo tratamento

Fonte: Dados do experimento. Elaborada pelo autor.

2.4. DISCUSSÃO

2.4.1. Produção de MPInt e pastagem no primeiro experimento.

A produção de biomassa total (MPInt + pastagem) alcançado nos tratamentos AQ, MQ, CP (9,01, 7,71 e 7,32 t MS ha⁻¹, respectivamente) pode ser considerada satisfatória, tendo em vista a variedade de milho, espécie da pastagem, época de plantio e adubações utilizadas e em comparação com outros estudos (PAULA et al. 2016, PARIZ et al. 2007, MORAES et al. 2013). A produção de MPInt obtida foi abaixo do esperado, já que a adubação de P e K do tratamento AQ foi calculada para uma produção de 12 t de MS. O N foi aplicado em quantidade menor que o recomendado para produção de 12 t de MS, na expectativa de uma contribuição da fixação biológica pela presença de Fabaceas na pastagem.

O uso de doses menores de adubação, como era previsto, resultou em menor produção de MPInt, mas não afetou a produção de pastagem durante o ciclo do milho. É amplamente reconhecido que o milho responde bem às adubações (AGEGNEHU et al., 2016; DAMIAN et al., 2017; LANGE et al., 2014) e o aumento nas quantidades de adubos tende a aumentar a produção. Um exemplo é o plantio de milho em consórcio com Tanzânia (*Panicum maximum Jacq.*) em região também de clima

Cfa, e adubado com 156 kg N, 108 kg de P_2O_5 e 12 kg de K_2O ha^{-1} , que produziu 11,4 ($\pm 3,1$) t ha^{-1} (PAULA et al., 2016). Todavia, a emissão de N_2O também aumenta significativamente com o incremento das doses de N aplicado na lavoura de milho (ROY et al., 2014). Uma das fontes de adubação recomendada para o desenvolvimento de sistemas sustentáveis de produção é o N fixado via simbiose, sendo que a quantidade fixada e utilizada pelas plantas em um ecossistema polifítico é altamente influenciada pelo nível de participação de Fabaceae nos sistemas polifíticos. A presença de 40 a 60% de Fabaceae foi o que permitiu obter a maior produção de biomassa, num experimento no qual se considerou uma variação de participação entre 0 a 100% (NYFELER et al., 2011). A fixação de N pelas Fabaceae e a ciclagem de nutrientes pelo manejo da pastagem em sistema de PRV durante o segundo experimento não foi suficiente para atender a demanda de nutrientes do milho nos tratamentos com menor ou sem adubação. O uso de cama de peru não apresentou efeito residual da adubação, já que a produção no segundo ano foi idêntica ao primeiro.

A produção de MPInt foi abaixo da maioria dos estudos em que se avalia consórcios de milho com pastagens. É o caso do experimento realizado em Dourado, MS, onde a produção de biomassa de milho cultivado em consórcio com *Panicum maximum* Jacq. ‘Tansânia’ e *Uruchloa brizantha* ‘Marandu’ foi de 10,7 e 10,1 t ha^{-1} ano⁻¹ respectivamente (CECCON et al., 2013), ou do experimento realizado na região norte do Paraná, utilizando a variedade de milho AS32, com 130 kg de P_2O_5 , 90 kg de K_2O e 80 kg de N ha^{-1} , onde a produção foi de 9,6 t ha^{-1} ano⁻¹ (MORAES et al., 2013). Todavia, interessa-nos a produção total de biomassa, já que o objetivo é a produção de silagem, e neste caso, usa-se a biomassa total, e não apenas a planta de milho. Segundo experiência prática relatada por Machado Filho (2017), a silagem produzida em sistema de cultivo de milho sobre pastagens polifíticas é de boa qualidade e plenamente consumida pelos bovinos. A proposta testada aqui prevê a utilização do MPInt, mais a pastagem e eventualmente as plantas espontâneas, para a confecção de silagem, ou seja, o que no sistema convencional é combatido com herbicida – que demanda custos financeiros, energia fóssil, trabalho e poluição – nessa proposta agroecológica se transforma em silagem consumida pelo gado.

O teste de dois procedimentos de plantio teve como objetivo verificar seu efeito sobre a competição por recursos escassos, como luz, nutrientes e água, citados por Valdés et al., (2014). O procedimento de raspagem ao longo da linha de plantio, com diminuição da competição inicial entre a pastagem e o milho, entretanto, não afetou as variáveis

avaliadas. Os mecanismos de facilitação, como o uso mais eficiente dos recursos (BROOKER et al., 2016), podem ter contribuído para diminuir os efeitos da competição. A busca por lavouras livres de plantas espontâneas e competições impulsionou o uso de agrotóxicos no mundo (GIANESSI, 2013), desconsiderando que a diminuição das práticas da limpeza das lavouras (geralmente pela redução de agrotóxicos) nem sempre afetam a produtividade. A presença de maior densidade de plantas espontâneas no manejo integrado (com menos agrotóxicos) não afetou a produção de grãos em relação ao sistema de manejo convencional, sem presença de espontâneas (VASILEIADIS et al., 2015).

2.4.2. Análise econômica e ambiental

Para a avaliação dos impactos ambientais da produção de milho, optamos pelo FEAT por que o mesmo combina facilidade de uso com precisão (CAMARGO; RYAN; RICHARD, 2013) e por atender aos nossos objetivos de avaliar a eficiência energética e a emissão de GEE. Os resultados mostram que, embora o tratamento AQ tenha produzido mais (Figura 5), resultou em maior custo energético e ambiental, com menor EE, maior emissão de GEE e iGEE (Tabela 8). Ao mesmo tempo em que ocorreu o aumento da produção como efeito da adubação, também houve maior emissão de GEE e demanda energética oriunda desta adubação. Isto reforça a importância das alternativas que buscam reduzir e otimizar o uso de fertilizantes defendida por O'Brien et al. (2016) e da substituição de adubação química pelo orgânico (SANTOS et al., 2014b), já que o tratamento com cama de peru (CP) apresentou maior EE e menor iGEE que a adubação química (AQ).

A EE para a produção de grãos também é maior nos tratamentos AZ e CP (2,54 e 2,96 respectivamente) em comparação aos tratamentos MQ e AQ (1,32 e 1,24 respectivamente), o que significa que houve maior gasto energético para produzir cada t de grão nos tratamentos com presença de adubação química se comparado aos tratamentos sem presença de adubação química. Isso evidencia a importância de avaliar a resposta ao uso da adubação química para além da produtividade.

Os impactos ambientais, quando atribuídos ao MPInt (Tabela 8), foram menores aos encontrados por Giuliano et al. (2016) em estudo com 3 anos de duração, que encontraram uma eficiência da energia de 8,4, 9,1, 6,7 e 7,6 e intensidade de emissão de GEE de 18,1, 17,6, 24,9 e 20,2, para os tratamentos de monocultura de milho convencional, monocultura de milho convencional com baixo uso de insumos, monocultura de milho

com PD, e milho em rotação com soja e trigo em PD, respectivamente. Os dados apresentados na Tabela 8 se referem apenas à produção de MPInt. Como já discutido acima, nos tratamentos testados aqui, é possível colher e ensilar, além do MPInt, a pastagem que se desenvolve na área durante esse período. Neste caso, a redução dos impactos ambientais é significativa, como pode ser observado na Tabela 10, tanto pela redução da iGEE de 2,5 a 5,5 vezes, quanto pelo aumento da eficiência energética em até 422% em relação ao sistema de monocultura de milho avaliado por Giuliano et al. (2016).

A busca constante pelo aumento da produção agrícola está contribuindo significativamente para a contaminação ambiental nas últimas décadas (FAO IFAD; WFP. 2015). Os sistemas de produção de carne e de leite podem ter maior ou menor nível de emissão, dependendo, entre outros, do sistema de cultivo das pastagens, silagens e grãos (HIETALA et al., 2015). Sendo a silagem e o grão alimentos de grande importância na alimentação dos bovinos, é importante que sejam utilizados, para a sua produção, sistemas que diminuem os efeitos ambientais, como o testado aqui, contribuindo assim para a diminuição dos impactos ambientais da produção de carne e leite.

O CVa, que neste estudo não diferiu entre tratamentos (Tabela 8), geralmente apresenta grande variação, tanto em relação ao sistema e tecnologia empregada, quanto à região ou país onde o estudo é realizado (COSTA et al., 2017; GIULIANO et al., 2016; NEUMANN et al., 2005; PISHGAR KOMLEH et al., 2012, 2011). O levantamento do custo de produção do milho em grão de média tecnologia, elaborado pela EPAGRI, apresenta um CVa de R\$ 318,31 t⁻¹ e margem bruta de R\$ 39,19 t⁻¹, para a safra 2014/15. Nas safras seguintes, a margem bruta foi R\$ -10,13 e R\$ -5,01, respectivamente para as 2015/16 e 2016/17, ou seja, negativa. A margem bruta não considera os custos com depreciação, impostos, remuneração do capital, mão de obra fixa, e juros sobre o capital (SANTA CATARINA, 2018), o que eleva ainda mais o prejuízo ou diminuiu o lucro da atividade. Apesar das diferenças de preços dos insumos entre as regiões, há uma diferença expressiva no custo entre os sistemas avaliados nesta pesquisa e os citados na literatura. O destino da produção de silagem produzida nos estabelecimentos rurais do Oeste de Santa Catarina é o consumo no próprio estabelecimento, sendo rara sua comercialização (Capítulo 3), o que dificulta estimar o valor comercial da mesma. O custo de produção do MPInt não é muito distinto do divulgado pela Epagri para a produção de grãos. Entretanto, o custo de produção,

Tabela 10. Produção de t MS ha⁻¹, Custo variável (CVa) em R\$ t⁻¹, energia demandada (ENd) e produzida (ENp) em MJ ha⁻¹ ano⁻¹, eficiência da energia (EE), emissão de GEE em Kg CO₂-eq ha⁻¹ ano⁻¹, e intensidade de GEE (iGEE) em g CO₂-eq MJproduzido⁻¹, na produção de milho planta inteira e pastagem em área de cultivo de milho em pastagens perenes polifíticas, nas safras 2014/15 e 2015/16.

| Tratamentos | t MS ha ⁻¹ | ENp (a) * ³ | CVa * ¹ * ² | EE | GEE (b)* ¹ | iGEE (b/a)* ² |
|-------------|-----------------------|---------------------------|-----------------------------------|-------|--------------------------|-----------------------------|
| AZ | 5,50c | 103.000a | 136,46 b | 35,1b | 429a | 4,4a |
| CP | 7,32b | 137.000b | 168,50 a | 46,1c | 901b | 6,9b |
| MQ | 7,71b | 144.000b | 158,67 ab | 20,7a | 1.017c | 7,4b |
| AQ | 9,01a | 168.000c | 181,79 a | 15,4a | 1.570d | 9,8c |
| SE | 0,46 | 15.900 | 0,002 | 2,14 | 31,6 | 0,001 |

Legenda: *¹ = Custos variáveis + custo financeiro de 5.5% a.a.; *²Análise com dados transformados; *³ Calculados pela planilha FEAT; SE = Erro padrão; - = dado não disponível. Números seguidos pelas mesmas letras não diferem entre si, para as colunas, pelo teste Tukey (p<0.05).

Fonte: Dados do experimento. Elaborada pelo autor.

quando calculado sobre toda a biomassa produzida (tabela 10) é bem menor em todos tratamentos.

2.4.3. Produção de pastagem no segundo experimento

A produção de pastagem nos dois períodos do segundo experimento foi compatível com as produções obtidas no estado de Santa Catarina, que, conforme mostra a literatura, é muito variada: A missioneira gigante (*Axonopus catharinensis*) produziu 18 t ha⁻¹ em média durante os anos de 2001 a 2004 no Município de Urussanga (DUFLOTH; VIEIRA, 2012), enquanto que em Chapecó, esta mesma espécie produziu entre 2,69 a 11,37 t ha⁻¹, com variação de acordo com o nível de adubação (MIRANDA et al., 2012). A produção também é compatível com a encontrada com o Tifton em Viçosa (MG), que foi de 8 a 17,2 t ha⁻¹ ano⁻¹ (OLIVEIRA et al., 2011). A menor produção inicial nos tratamentos com presença de milho (RNAZ e RNCP) em relação à testemunha pode ser atribuído ao acamamento da resteva de milho e da pastagem no primeiro experimento, que demandou maior quantidade de N para sua decomposição. O equilíbrio produtivo após essa diferença

inicial demonstra, ao nosso ver, que o cultivo do milho, entretanto, não provoca a degradação da pastagem.

2.4.3. Características químicas do solo

O aumento da MO observada na camada de 0 a 0,1 m entre o período1 e o período2 ocorreu devido ao acúmulo maior de biomassa vegetal proveniente dos restos das pastagens, raízes e fezes depositadas sobre o solo. A diminuição da MO na profundidade de 0,1 a 0,2 pode ser decorrente da ação dos microrganismos decompositores e ao menor aporte de MO nesta camada. Estes resultados estão de acordo com o observado em sistema de integração lavoura pecuária implantado há 10 anos (GAZOLLA et al., 2015).

A manutenção das características químicas do solo entre os dois períodos pode ser explicada pelo fato de que a biomassa produzida foi pastoreada por bovinos sob manejo em PRV e retornou ao solo em forma de bosta, urina fresca e restos culturais, favorecendo a ciclagem dos nutrientes e conseqüentemente diminuindo a necessidade de fertilizantes adicionais (RUSSELLE; ENTZ; FRANZLUEBBERS, 2007).

A concentração maior de P, K e MO na camada de 0 a 0,1 m provém da liberação desses elementos durante a decomposição dos resíduos vegetais e animais depositados nesta camada e não incorporados por processos de revolvimento do solo, portanto resultado do sistema de plantio direto. Os resultados estão de acordo com os obtidos após 20 anos de implantação de sistema de plantio direto em um Latossolo vermelho distrófico típico, no RS (SANTOS et al., 2008). O acúmulo de P extraível na camada superficial do solo é desejável, já que estará mais prontamente disponível na camada de maior absorção de nutrientes pelas raízes das plantas (SANTOS et al., 2008).

A concentração de P, K, Ca e MO foram inferiores às obtidas antes da implantação do experimento. Em relação ao P, K e Ca, esta diminuição pode ser atribuída a eventual exportação dos elementos via pastagem, ou por diferença de calibração de equipamentos, já que as análises foram realizadas em laboratórios diferentes. O aumento da MO pode ser explicado pela diferença entre os métodos e análise, já que no laboratório da Epagri usa-se o método da oxidação por solução sulfocrômica descrito em Tedesco et al. (1995).

As características químicas do solo encontradas nesse experimento são semelhantes às obtidas em experimento realizado no Estado do Paraná para testar a viabilidade de substituir o N da ureia por cama de peru. Naquele estudo, o uso crescente de cama de peru (entre 1,5 a 7,5 t ha⁻¹)

elevou os teores de MO somente na profundidade de 0 a 5 cm, reduziu o pH, K, Ca, Mg, e não alterou o P nas profundidades de 0 a 5cm, 5 a 10 cm e 10 a 15 cm (SANTOS et al., 2014b).

De modo geral, as alterações nas concentrações dos elementos químicos no solo são lentas, exceto no caso de alterações bruscas no manejo ou pelo uso de corretivos, que não ocorreu neste estudo. A substituição de áreas de pastagens ou de florestas por culturas anuais, por exemplo, diminuiu a MO do solo rapidamente (VAN MIDDELAAR et al., 2013; VELLINGA; HOVING, 2011). A remoção constante da palhada, como no caso do uso de milho para silagem, também diminui a concentração de MO no solo, resultando em perda da sua fertilidade (BLANCO-CANQUI; LAL, 2008), porém em ritmos mais lentos. O menor estoque de C no solo nas lavouras de milho foi verificado em estudo realizado no Oeste de Santa Catarina, onde em áreas de pastagem perene polifítica, manejadas em PRV havia 23.5 Mg de C ha⁻¹ a mais que em área de lavoura de PD de milho, na profundidade de 0 a 0,40 m (SEÓ; MACHADO FILHO; BRUGNARA, 2017).

Neste experimento, avaliamos a viabilidade do plantio de milho em pastagens polifíticas perenes em PRV, sem necessidade de uso de agrotóxicos ou revolvimento do solo, nem de renovação das pastagens. Esta proposta tem uma diferença fundamental em relação à produção de grãos e silagem dos sistemas tradicionais e em SILP. Enquanto esses usam o plantio de milho com aplicação de agrotóxicos e/ou por revolvimento do solo, aqui as pastagens polifíticas perenes são aproveitadas como base de uma produção sustentável de alimentos. Desta forma, evita-se o uso de áreas adicionais e específicas para a produção de silagem em monocultura, e aumenta-se as áreas de pastagem perene. O solo de pastos é menos suscetível a erosão, estoca mais C, e manejado dessa forma reduz o impacto ambiental e o custo energético da agricultura.

2.5. CONCLUSÃO

Esse estudo mostra que o plantio direto de milho em pastagens perenes polifíticas sem o uso de herbicidas apresenta produtividade satisfatória, baixo custo energético e baixa emissão de GEE, em relação ao sistema tradicional. Mostra também que maiores doses de adubação são as mais produtivas, mas às custas de menor eficiência energética e maiores emissões de GEE. A produção de milho durante o verão pode ser integrada em pastagens perenes sem comprometer a produção anual da pastagem, satisfazendo assim a demanda de forragem de inverno e, portanto, eliminando a necessidade de terras adicionais para a produção de silagem e reduzindo a intensidade de emissão de GEE.

2.6. AGRADECIMENTO

Agradecemos a Família de Raimundo, Lori e Louvane Back que cederam a área e auxiliaram na condução do experimento. À FAPESC pela bolsa de doutorado para AVW. Aos colegas do Laboratório de Etologia Aplicada e Bem-Estar Animal (LETA) e da Epagri de Santa Helena pelo apoio. Esta pesquisa teve o apoio financeiro do MCTI/MPA/MDA/MEC/MPA/CNPq, chamada nº 81/2013.

Capítulo 3. PRODUÇÃO E QUALIDADE DE FITOMASSA EM PLANTIO DE CANAVALIA (*CANAVALIA ENSIFORMIS* L.) E CROTALÁRIA (*CROTALARIA JUNCEA* L.) SOBRE PASTAGENS PERENES DE *PANICUM MAXIMUM* E *CYNODON* spp.

PRODUCTION AND QUALITY OF PHYTOMASS IN CULTIVATION OF CANAVALIA (*CANAVALIA ENSIFORMIS* L.) AND CROTALARIA (*CROTALARIA JUNCEA* L.) IN PASTURE FORMED BY *PANICUM MAXIMUM* AND *CYNODON* spp.

RESUMO:

Com o objetivo de avaliar o efeito do cultivo de Canavália (*Canavalia ensiformis* L.) e de Crotalária (*Crotalaria juncea* L.) em área de pastagem formada por *Panicum maximum* e *Cynodon* spp., visando o cultivo posterior de milho, foi instalado um experimento na Estação Experimental Indio Hatuey, em Cuba, em área manejado pelo pastoreio racional Voisin. O desenho experimental foi em blocos completamente casualizados, com três tratamentos e 6 repetições. Os tratamentos testados foram: **Canavália**, com *Canavalia ensiformis*; **Crotalária**, com plantio de *Crotalaria juncea* e, **Testemunha**, sem plantio de leguminosa. A produção de fitomassa aos 85 dias após o plantio diferiu entre os tratamentos, com 8,2, 6,1 e 3,7 t ha⁻¹, nos tratamentos Canavália, Crotalária e Testemunha respectivamente. A produção de cálcio e fósforo foi maior no tratamento Canavália, seguido pelo tratamento Crotalária, e menor no tratamento Testemunha. A produção de nitrogênio e magnésio foi maior nos tratamentos Canavália e Crotalária em comparação com a Testemunha. A macrofauna e a resistência do solo à penetração não foram afetadas pelos tratamentos. Concluímos que o plantio de Canavália ensiformis e de Crotalaria juncea aumenta a produção de fitomassa e de macronutrientes em área de pastagem perenes formada por *Panicum maximum* e *Cynodon* spp.

Palavras chave: ciclagem de nutrientes, cobertura do solo, fixação biótica de nitrogênio, macronutrientes do solo, plantio direto.

ABSTRAT

With the aim of evaluate the effect of Canavália (*Canavalia ensiformis* L.) and Crotalaria (*Crotalaria juncea* L.) cultivation in pasture formed by *Panicum maximum* and *Cynodon* spp., aiming at the later cultivation of corn, an experiment was carried out at the Indio Hatuey Experimental Station (Cuba), in an area managed by Voisin's rational grazing. The experimental design was completely randomized blocks with three treatments and six replicates. The treatments tested were: Canavália, with *Canavalia ensiformis*; Crotalaria, with planting of *Crotalaria juncea* and, Control, without

leguminous planting. Phytomass production at 85 days after planting differed between treatments, with 8.2, 6.1 and 3.7 t ha⁻¹ in the Canavália, Crotalaria and Control treatments, respectively. The production of Calcium and Phosphorus were higher in the Canavália treatment, followed by the Crotalaria treatment, and lower in the Control treatment. The production of Nitrogen and Magnesium was higher in the Canavália and Crotalaria treatments compared to the Control. Macrofauna and soil penetration resistance were not affected by the treatments. We conclude that the cultivation of *Canavalia ensiformis* and *Crotalaria juncea* increases the production of phytomass and macronutrients in perennial pasture area formed by *Panicum maximum* and *Cynodon* spp.

Key words: nutrient cycling, soil cover, biotic nitrogen fixation, soil macronutrients, no - till.

3.1. INTRODUÇÃO

A escolha de sistemas de produção que aplicam os princípios ecológicos e agroecológicos para promover a sustentabilidade e a eficiência produtiva vem sendo crescentemente requisitada nos últimos anos (NOWAK et al. 2015; WEZEL et al. 2014). O consórcio de culturas e plantas de cobertura do solo são opções frequentemente utilizadas com essa finalidade. O consórcio com presença de leguminosas viabiliza a fixação biológica de nitrogênio, melhora a produção e a eficiência no uso da água, luz e nitrogênio, além de auxiliar no controle de ervas espontâneas e incrementar a flora microbiana no solo (DUCHENE et al. 2017).

Da mesma forma, o cultivo de plantas de cobertura do solo, intercaladas ou em consórcio com as culturas anuais, é uma excelente técnica para melhorar a eficiência produtiva (XAVIER et al. 2013), o incremento do C e da fertilidade do solo (BOT; BENITES, 2005), diminuindo o uso de adubação nitrogenada e a contaminação do meio ambiente pelo óxido nitroso (N₂O). A presença das leguminosas nos consórcios geralmente é a chave para a eficiência de um ecossistema (ALTIERI, 1998b), criando assim as condições para a sustentabilidade da produção (SANDERSON et al. 2005; TILMAN et al. 2001).

As espécies leguminosas Canavália (*Canavalia ensiformis* L.) e Crotalária (*Crotalaria juncea* L.) têm como característica o alto volume de produção e de cobertura do solo e a fixação biológica de N (MARTÍN et al. 2007; PERIN et al. 2004). Estas espécies são frequentemente utilizadas para a cobertura do solo ou em consórcio (XAVIER et al. 2013). Em experimento realizado em Minas Gerais, a produção de Crotalária, Milheto mais Crotalária e Milheto, produziram 9,34, 8,04, 7,12 t MS ha⁻¹

¹ de fitomassa respectivamente, aos 68 dias de idade (PERIN et al. 2004). A produção da Canavália em experimento realizado em Cuba, com diferentes doses de adubação com esterco bovino, variou de 8,9 a 14,1 t MS ha⁻¹ (MARTÍN ALONSO et al. 2014). Além do grande volume de fitomassa produzido, essa se decompõe com maior rapidez devido a uma melhor relação C/N (Carbono/Nitrogênio), contribuindo para uma ciclagem mais rápida dos nutrientes (KUMAR; GOH, 1999). Além da relação C/N, os organismos vivos do solo são fundamentais para a decomposição da matéria orgânica e da formação das estruturas do solo entre outros benefícios (PULLEMAN et al. 2012). A Canavália também contribui também para a diminuição da resistência à penetração do solo (SEIDEL et al. 2016), que é considerada a opção adequada para expressar o grau de compactação do solo e, conseqüentemente, a facilidade de penetração das raízes (MERCANTE et al. 2003).

Um dos problemas da gestão da integração da lavoura-pecuária é a flutuação estacional da produção de pastagens. A produção de pastagem pode variar de 10 a 72 kg ha⁻¹ dia⁻¹ na mesma área, dependendo da época do ano (CHAPMAN et al. 2009; DEMANET et al. 2015). O resultado desta flutuação é que em uma época do ano sobra produção, enquanto que na outra falta, criando assim a necessidade de uma organização eficiente de produção e de armazenamento para atender a demanda dos animais durante todo o período. Uma das estratégias é o armazenamento de parte da produção excedente e seu uso no período de escassez. O armazenamento adequado, entretanto, requer que o material tenha características que permitam sua ensilagem ou fenação. Características estas que geralmente não são atendidas pelas pastagens perenes tropicais, por falta de amido ou dificuldade na secagem. Por outro lado, são estas algumas das características que fazem do milho a planta mais utilizada para o armazenamento em forma de silagem (KHAN et al. 2015).

O milho é uma cultura que demanda alta quantidade N, que pode ser suprida através da rotação de culturas ou consórcios, especialmente com a utilização de leguminosas, diminuindo a necessidade de fontes externas de N (LEDGARD; STEELE, 1992).

Com a finalidade de buscar uma produção eficiente de silagem em áreas com pastagens tropicais perenes, nos quais a convivência permanente de leguminosas é difícil, com evidente deficiência de N para a demanda do milho, propomos o cultivo de leguminosas nas pastagens perenes antes do cultivo do milho na mesma pastagem.

Nosso estudo tem como objetivo avaliar o efeito do cultivo de *Canavalia ensiformis* e de *Crotalaria juncea* em área de pastagem formada por *Panicum maximum* e *Cynodon spp.*, na produção e qualidade

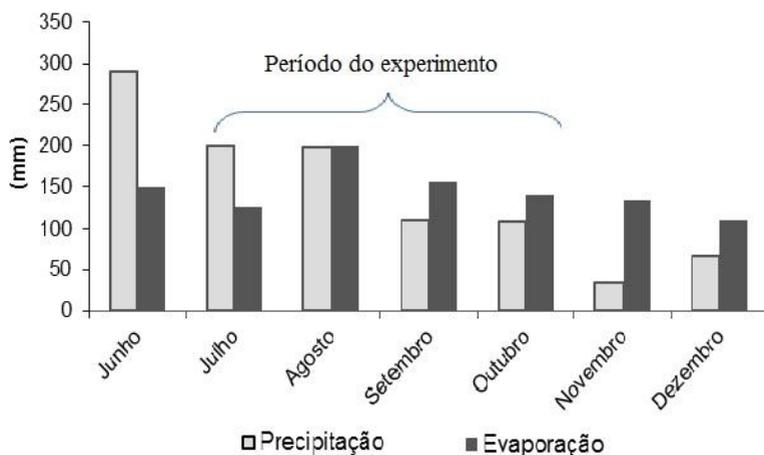
de fitomassa, bem como sobre a macrofauna e a resistência do solo à penetração.

3.2. MATERIAL E MÉTODOS

O experimento foi instalado no verão de 2015, na Estação Experimental de Pastos e Forragens Índio Hatuey, localizada aos 22°48' N e 81°2' O, a 19 metros acima do nível do mar, no município de Perico, província de Matanzas, Cuba. O solo classifica-se como Ferralítico Rojo lixiviado (HERNÁNDEZ et al. 1999) e a topografia do local é plana. A temperatura média anual de 2010 a 2014 foi de 24,38 °C, com temperatura mais elevada nos meses de julho e agosto, com temperaturas de 26,6 °C e 26,7 °C, respectivamente, e mais amena no mês de janeiro com média de 20,3 °C. A umidade relativa média anual foi de 80,6 %, com o maior valor em outubro (86,4 %) e o menor em abril (72 %). A precipitação e evaporação do período do experimento constam na Figura 6.

A pastagem do local era formada por uma mistura de *Panicum maximum* e *Cynodon spp.*, com aproximadamente 50% de cada espécie, sendo usada para pastoreio a cada 40 a 60 dias nos últimos 10 anos, no sistema de Pastoreio Racional Voisin.

Figura 6- Precipitação e evaporação verificados em Perico, Matanzas, Cuba, em 2015.



Fonte: Dados fornecidos pela Estação experimental de pastos e forragens Índio Hatuey, Cuba. Elaborada pelo autor.

O desenho experimental foi em blocos completamente casualizados, com três tratamentos e 6 repetições. Os tratamentos foram: **Canavália**, com *Canavalia Ensiformis* em espaçamento de 0,90 m entre linhas e 0,20 m entre plantas; **Crotalária**, com plantio de *Crotalaria Juncea* em espaçamento de 0,45 m entre linhas, com 10 sementes por metro linear; e, **Testemunha**, sem plantio de leguminosa.

As leguminosas foram plantadas manualmente, imediatamente após a roçada da pastagem no seu tempo ótimo de repouso, no mês de junho, em unidades experimentais (UE) medindo 5,0 x 3,6 m. Foi utilizado um subsolador com hastes de 0,05 m de largura, acoplado ao trator, para abrir as linhas de plantio.

3.2.1. Determinação do crescimento, produção e qualidade da pastagem e das leguminosas

O crescimento da pastagem e das leguminosas foi determinado quinzenalmente, medindo-se a altura das plantas através de uma régua graduada, do solo até a altura da folha bandeira. Para compor a média do crescimento foram realizadas três medições em cada UE e data de amostragem.

A produção de fitomassa da pastagem foi determinada aos 85 dias após o plantio das leguminosas, através da coleta de duas subamostras em cada UE, delimitadas por um retângulo de 0,55 x 0,45 m, a 0,05 m do solo. As subamostras foram homogeneizadas e uma amostra representativa de aproximadamente 300 g foi levada à estufa para secar a 60°C por 72 horas, para determinar a produção de MS. Em seguida, as amostras foram moídas em moinho tipo willey, com peneira de um mm e enviadas ao laboratório do ICA (Instituto de Ciência Animal) para análises de N, Ca, Mg, cinza e fibra em detergente neutro (FDN).

A produção de fitomassa das leguminosas foi determinada aos 85 dias após o plantio, cortando-se todas as plantas a 0,05 m do solo em uma área selecionada aleatoriamente, delimitada por um quadrado com um metro de lado. Após trituradas e homogeneizadas, as amostras seguiram nos mesmos procedimentos da pastagem.

O conteúdo da N, P, Ca, cinza e Mg foi determinado segundo a metodologia de AOAC (1995) e o fracionamento da fibra em detergente neutro (FDN) segundo Van Soest et al. (1991) no ICA (Instituto de Ciência Animal) de Cuba.

O acúmulo de Ca, N, P, Mg, FDN e cinzas foi calculada através da seguinte equação: $x = (\text{Produção de fitomassa pastagem}_i (\text{tabela 11}) * \text{MS}_j * \text{Concentração}_k (\text{tabela 12}) + (\text{Produção de fitomassa de leguminosa}_i (\text{tabela 11}) * \text{MS}_j * \text{concentração}_k (\text{tabela 12}))$.

3.2.2. Avaliação da resistência do solo à penetração (RP)

A RP foi determinada através do equipamento manual denominado *soil compaction tester*, em 5 pontos em cada UE, nas profundidades de 0 a 0,10 e de 0,10 a 0,20 m, no início e no final do experimento. O equipamento foi pressionado para penetrar no solo a uma velocidade constante, considerando em cada amostra a resistência máxima encontrada. Junto com a determinação da RP foram coletadas amostras de solo para determinar sua umidade.

3.2.3. Determinação da macrofauna

A macrofauna foi avaliada no início e no final do experimento, pelo método TSBF (Biologia e fertilidade dos solos tropicais), inicialmente proposto por Anderson e Ingram (1993), com alterações de Schroth e Sinclair (2003). Foi retirado um volume conhecido de terra, delimitada por um quadrado de 0,25 m de lado, nas profundidades de 0 a 0,10 m e de 0,10 a 0,20 m, sempre entre às 6:30 e 9:30 h no segundo e terceiro dias após a chuva. A triagem foi realizada sobre uma base de plástico, capturando e colocando todos os indivíduos visíveis a olho nu num recipiente com álcool a 70% e levados ao laboratório para separação e pesagem. Os indivíduos foram separados nas seguintes ordens Coleóptero, oligoqueto, lepidóptera, isópodo, marisco e aracnídeo.

3.2.4. Análise estatística

A análise estatística foi realizada com auxílio do software R (R CORE TEAM, 2016), versão 3.3.2. Modelos lineares mistos foram ajustados por Máxima Verossimilhança Restrita (REML) pelo pacote nlme (PINHEIRO et al. 2016). As médias foram comparadas pelo teste tukey ($p < 0,05$), com o pacote lsmeans (LENTH, 2016). A normalidade e homogeneidade dos resíduos foram verificadas pelos gráficos QQ e resíduos versus ajustados. O gráfico de crescimento foi pelo ggplot2, utilizando o comando *geom_smooth*, e método *loess*. As ordens lepidóptera, isópodo, marisco e aracnídeo foram agrupadas em um grupo chamado “outro” por apresentarem menor participação na macrofauna.

3.3. RESULTADOS

3.3.1. Crescimento da pastagem e das leguminosas

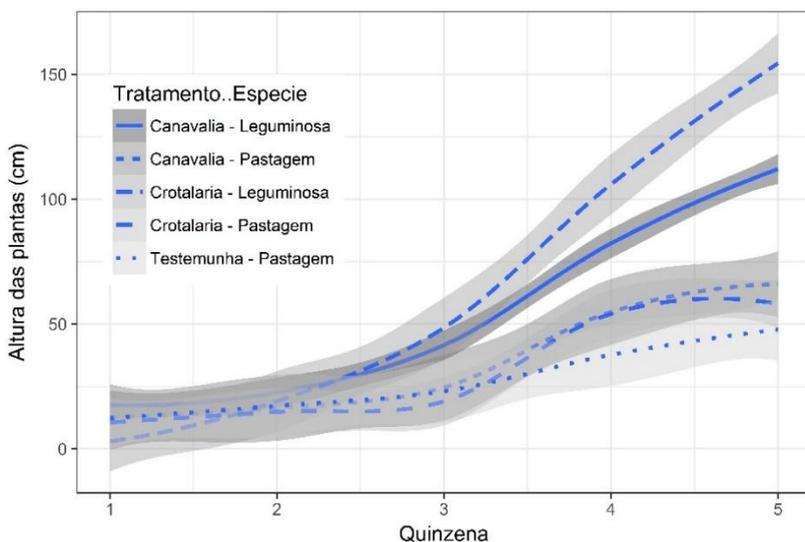
O crescimento da gramínea e das leguminosas introduzidas no sistema estão representadas na figura 7. Não houve diferença no crescimento final da pastagem entre os tratamentos, com média de 0,57 m de altura. Em relação às leguminosas, a Crotalária foi a espécie que

mais cresceu, alcançando 1,54 m de altura na quinta quinzena, contra 1,12 m da Canavália.

3.3.2. Produção de fitomassa

A maior produção de fitomassa de gramíneas foi no tratamento Canavália. Não houve diferença na produção das leguminosas entre os tratamentos Canavália e Crotalaria. A maior produção de fitomassa total para cobertura do solo (gramíneas + leguminosas) foi no tratamento Canavália, seguido pelo tratamento Crotalaria e testemunha (Tabela 11).

Figura 7: Crescimento da pastagem e das leguminosas em área de plantio de leguminosas sobre pastagens perenes de gramíneas, no período das chuvas, em Cuba.



Legenda: Linhas suavizadas indicam o intervalo de confiança (95%).

Fonte: Dados do experimento. Elaborada pelo autor.

Tabela 11. Produção de fitomassa de pastagem e de leguminosas conforme tratamento em área de plantio de leguminosas sobre gramíneas, no período das chuvas, em Cuba, aos 85 dias após o plantio.

| Tratamento | Gramínea | Leguminosas | Total |
|----------------------------------|----------|-------------|-------|
| Canavália MS t ha ⁻¹ | 5,5 a* | 2,7 ns | 8,2 a |
| Crotalária MS t ha ⁻¹ | 3,8 b | 2,2 | 6,1 b |
| Testemunha MS t ha ⁻¹ | 3,7 b | - | 3,7 c |
| EPM | 0,68 | 1,8 | 0,86 |

Legenda: EPM= Erro padrão da média; ns= não significativo; - = Dado não existente; * = Números seguidos da mesma letra não diferem entre si pelo teste Tukey ($p < 0,05$).

Fonte: Dados do experimento. Elaborada pelo autor.

3.3.3. Qualidade da fitomassa.

A concentração de N, Ca, Mg, cinzas e FDN das gramíneas e das leguminosas, de acordo com os tratamentos constam na tabela 12. A implantação da Canavália e da Crotalária sobre a gramínea não afetou os indicadores de composição analisados. A concentração de N e Ca das leguminosas é maior que na gramínea. A concentração de FDN foi maior na gramínea em relação às leguminosas. A concentração de cinzas não diferiu entre as leguminosas e a gramínea.

3.3.4. Acúmulo de Ca, N, P, Mg e cinzas

O acúmulo de Ca e P foi maior no tratamento Canavália, seguido pelo tratamento Crotalária e com menor acúmulo pela testemunha. O acúmulo de N e Mg foi menor no tratamento testemunha em comparação com os tratamentos Canavália e Crotalária, entre os quais não houve diferença. O acúmulo de cinzas foi maior no tratamento Canavália que em Crotalária e testemunha, entre os quais não houve diferença (Tabela 13).

3.3.5. Resistência à penetração

Os dados da RP constam da tabela 14. Não foi observada diferença de RP entre as duas profundidades no início do experimento, porém no final do experimento houve diferença entre as duas profundidades, sendo que em 0,10 a 0,20 m a RP foi menor que em 0 a 0,10 m. A diferença entre a RP média da profundidade de 0,10 a 0,20 m no início (1,08 Mpa) e a

Tabela 12. Concentração de N, Ca, Mg, cinzas e FDN (% da MS), da gramínea e das leguminosas em área de plantio de leguminosas sobre pastagens perenes, aos 85 dias após o plantio.

| Tratamento | Fitomassa | N | Ca | Mg | Cinzas | FDN |
|------------|------------|------|------|-------|--------|-------|
| Canavália | Leguminosa | 3,3a | 2.7a | 0,3ns | 8,7ns | 48,0b |
| Crotalária | Leguminosa | 3,3a | 2.1a | 0,3 | 7,5 | 50,9b |
| Canavália | Gramínea | 1,0b | 0,8b | 0,3 | 9,4 | 78,8a |
| Crotalária | Gramínea | 1,0b | 0,3b | 0,3 | 8,2 | 81,7a |
| Testemunha | Gramínea | 1,0b | 0,5b | 0,3 | 9,3 | 80,9a |
| EPM* | | 0,14 | 0,20 | 0,07 | 0,8 | 1,64 |

Legenda: *=Erro padrão da média; ns= não significativo; Números seguidas da mesma letra não diferem entre si pelo teste Tukey ($p < 0,05$).

Fonte: Dados do experimento. Elaborada pelo autor.

encontrada em final (0,85) tende a ser significativa ($p=0,0568$). Não foi observada alteração da RP na profundidade de 0 a 0,10 m entre as duas épocas de amostragem.

3.3.6. Macrofauna

O número de indivíduos encontrados no solo, nas profundidades de 0 a 0,10 m e de 0,10 a 0,20 m constam na tabela 15. A ordem de oligoquetos teve o maior número de indivíduos encontrados na área, seguidos pelos coleópteros. Não houve diferença do número das ordens coleóptera, oligoquetos e do grupo “outros” entre os tratamentos. O número total de indivíduos encontrados no início do experimento foi de 313 m^{-2} , e no final esta quantidade diminuiu para 38 m^{-2} . A diminuição foi observada nos três tratamentos e em todas as ordens avaliadas. Em relação à profundidade, houve uma presença maior na camada de 0 a 0,10 m, com média de $264 \text{ indivíduos m}^{-2}$, se comparado à camada de 0,10 a 0,20 m, onde foram encontrados $80 \text{ indivíduos m}^{-2}$.

3.4. DISCUSSÃO

A produção de fitomassa obtida no nosso estudo é menor da encontrada por Martín et al. (2007), Martín Alonso et al., 2014) e por Carneiro et al. (2008), que foi de 9,7 t ha⁻¹, 8,9 a 14 t ha⁻¹ e de 14,9 t ha⁻¹ respectivamente. A produção de Crotalária encontrada por Torres et al. (2005), em monocultura foi de 3,9 t ha⁻¹, enquanto que Perin et al. (2004) obteve uma produção de 9,34 t ha⁻¹. Em consórcio de Crotalária com milho o volume total de fitomassa produzido foi de 8.04 t/ha (PERIN et al. 2004). Estes estudos mostram a grande variabilidade de produção dessas duas leguminosas, e sua importância para a cobertura do solo.

A maior produção da fitomassa de gramínea obtida no tratamento Canavália pode ser explicada em parte pelo efeito da sombra projetada sobre o pasto, como também pela adição de N via fixação biológica, ou ainda pelo aumento da atividade biológica no solo, ou outras formas de mutualismo. No tratamento Crotalária, não se observa efeito sobre a produção das gramíneas, possivelmente pelo fato do plantio ser com menor espaçamento entre linhas produzindo excessivo sombreamento e anulando o benefício da fixação e liberação do N (CASTRO et al. 1999). As gramíneas existentes na área (*Cynodon spp.* e *Panicum maximum*) respondem bem às adubações nitrogenadas. No nosso experimento não utilizamos outra fonte de adubação além do cultivo das leguminosas. Um dos benefícios diretos do aumento da produção, verificado em Canavália é o aumento da ciclagem de nutrientes (ALVARENGA et al. 2001).

Tabela 13. Acúmulo Ca, N, P, Mg, cinzas e FDN, na fitomassa das plantas de cobertura de da gramínea e das leguminosas em área de plantio de leguminosas sobre pastagens perenes, aos 85 dias após o plantio.

| Tratamento | Ca | N | P | Mg | Cinzas |
|------------|-----|------|-----|-----|--------|
| Canavália | 93a | 125a | 17a | 21a | 669a |
| Crotalária | 53b | 99a | 11b | 19a | 430b |
| Testemunha | 16c | 33b | 6c | 9b | 313b |
| EPM* | 8,0 | 11,0 | 1,1 | 2,7 | 70 |

Legenda: *=Erro padrão da média. Números seguidas da mesma letra não diferem entre si pelo teste Tukey ($p < 0,05$).

Fonte: Dados do experimento. Elaborada pelo autor.

A influência da sombra sobre a produção de fitomassa de pastagem pode variar conforme nível de sombreamento, tipo sombra, espécie de pastagem e clima. Em sombreamento artificial Castro et al. (1999) encontraram um aumento de produção sob sombra de 30% e uma diminuição sob sombra de 60%, para o *Panicum*, enquanto que para a *Brachiaria* encontrou um decréscimo linear com o aumento da sombra.

O efeito da adição de N via fixação biológica e sua liberação para as plantas vizinhas em um sistema polifítico é dinâmico. A quantidade de N fixado e liberado varia de acordo com o nível de N no solo, do potencial de crescimento das leguminosas e da competição com as gramíneas (LEDGARD; STEELE, 1992). A quantidade fixada, portanto, pode apresentar grandes variações, como 59 a 72 kg ha⁻¹ encontrada por (MARTIN ALONSO et al. 2017), ou 258 a 366 kg ha⁻¹ encontradas por Vera-Nunez. et al. (2008).

A qualidade da fitomassa de leguminosas e gramíneas tem grande importância para avaliar a eficiência das plantas de cobertura do solo (TORRES et al., 2008). Nosso estudo mostra que a concentração de N, Ca, Mg é maior nas leguminosas se comparado às gramíneas.

O acúmulo de nutrientes através da Crotalária, no estudo de Perin et al. (2004), realizado em Minas Gerais, foi de 305, 32,5, 90,9 e 64 kg ha⁻¹ para N, P, Ca e Mg. No estudo de Torres et al (2008) também realizado em Minas Gerais, o acúmulo de nutrientes através da Crotalária foi de 118, 10,8, 42, 12,8 kg ha⁻¹ de N, P, Ca, Mg respectivamente. A

Tabela 14. Resistência à penetração (Mpa) medida por penetrômetro manual, conforme profundidade e época, em área de plantio de leguminosas sobre pastagens perenes, em Cuba.

| Tratamento | Profundidade 0-10 cm | | Profundidade 10 a 20 cm | | |
|------------|----------------------|--------|-------------------------|--------|-------|
| | Início | Final | Início | Final | EPM |
| Canavália | 1,25 a | 1,11 a | 1,01 ab | 0,88 b | 0,047 |
| Crotalária | 1,02 a | 1,00 a | 0,91 ab | 0,78 a | 0,047 |
| Testemunha | 1,13 a | 1,11 a | 1,01 ab | 0,88 b | 0,047 |
| Média | 1,09 A | 1,08 A | 0,98 A | 0,85 B | 0,047 |
| EPM | 0,06 | 0,06 | 0,06 | 0,06 | |
| Umidade | 27,5% | 28,0% | 27,7% | 27,8% | |

Legenda: Números seguidos da mesma letra minúscula não diferem entre si em relação a cada profundidade e tratamento, e por letras maiúsculas para a média em cada profundidade, pelo teste Tukey (p<0,05). EPM= Erro padrão da média.

Fonte: Dados do experimento. Elaborada pelo autor.

quantidade de nutrientes acumulada em nosso experimento, especialmente nos tratamentos com leguminosa, pode ser considerada satisfatória. O plantio de leguminosas em policultivos tem como objetivo aumentar a produção de massa para ter uma boa cobertura e para fixação de nitrogênio. O uso de mais espécies numa mesma área possibilita um incremento de produção total de forragem, melhoria de qualidade da forragem e aumento da fixação de N (GOH; BRUCE, 2005).

A RP observada está em níveis nos quais não há efeito negativo sobre o crescimento das raízes (DUIKER, 2002), o que indica também que o volume de macro poros, a infiltração e o movimento interno de água, não são prejudicados (SOANE; VAN OUWERKERK, 2013). Este

Tabela 15. Número de indivíduos da macrofauna do solo conforme ordem (nº m⁻²), época e profundidade de amostragem, em área com plantio de leguminosas sobre pastagem de gramíneas perenes.

| Tratamento | Época | | Profundidade | |
|------------|----------|---------|--------------|------------|
| | Início | Final | 0 a 10 cm | 10 a 20 cm |
| Canavália | | | | |
| Coleóptero | 28,00 a | 2,70 b | 20,00 | 10,67 |
| Oligoqueto | 46,70 a | 8,00 b | 34,67 | 20,00 |
| Outros | 2,70ns | 2,70 | 5,33 | 0,00 |
| Todos | 77,30 a | 13,30 b | 60,00 | 30,67 |
| Crotalária | | | | |
| Coleóptero | 20,00 a | 1,30 b | 20,00 a | 1,33 b |
| Oligoqueto | 76,00 a | 6,70 b | 65,33 a | 17,33 b |
| Outros | 16,00 a | 1,30 b | 10,67 ns | 6,67 |
| Todos | 112,00 a | 9,30 b | 96,00 a | 25,33 b |
| Testemunha | | | | |
| Coleóptero | 14,70 ns | 7,40 | 20,92 a | 0,00 b |
| Oligoqueto | 97,30 a | 6,20 b | 73,85 a | 24,00 b |
| Outros | 12,00 ns | 2,50 | 13,54 ns | 0,00 |
| Todos | 124,00 a | 16,00 b | 108,31 a | 24,00 b |

Legenda: Letras diferentes após os números indicam diferença entre as médias no início e final do experimento e entre as profundidades de 0 a 0,10 e 0,10 a 0,20 m, pelo teste Tukey ($p < 0,05$). ns = não significativo.

Fonte: Dados do experimento. Elaborada pelo autor.

resultado difere do encontrado por Seidel et al. (2016), em estudo realizado Paraná – Brasil, onde foi verificado que a presença de Canavália em consórcio com milho diminui a resistência do solo na profundidade de 0,025 a 0,32 m. Acreditamos que em função do pequeno espaço de tempo entre as amostras e a maior margem de erro produzido pela utilização do equipamento manual não tenham colaborado com a precisão dos resultados.

Conforme Pulleman et al. (2012), os organismos e suas interações com o solo são fundamentais para os processos e funções do solo, incluindo a decomposição da matéria orgânica, ciclagem de nutrientes, formação da estrutura, regulação de pragas e biorremediação de contaminantes do solo. Soca et al. (2006) não encontraram aumento de atividade da macrofauna em defecções em sistema de monocultura de pastagens, mas um aumento significativo quando em sistema silvipastoril no período pouco chuvoso. A diminuição do número de indivíduos no nosso estudo, no curto espaço temporal, não pode ser atribuída aos manejos adotados no experimento, mas à mudança do volume de chuvas, que diminuíram de 200 mm no primeiro mês do experimento para 100 mm no último mês do experimento (Figura 6).

Os organismos da macrofauna do solo desenvolvem múltiplas interações com outros organismos (vegetais e animais), em diferentes escalas e em toda gama de processos biológicos, químicos e físicos, através da construção e manutenção da porosidade estrutural e da agregação dos solos, por meio da trituração, fundição e enterramento da liteira, da proteção das plantas contra doenças e pragas, aceleração da sucessão de plantas, entre outros (LAVELLE et al., 2006).

3.5. CONCLUSÃO

Os resultados do aumento da produção de fitomassa e o consequente aumento dos macronutrientes reciclados e o N fixado pelas leguminosas implantadas melhoraram as condições para o cultivo do milho em seqüência em pastagens perenes de *Cynodun spp.* e *Panicum Maximum*, e armazenar assim a produção que sobra em forma de silagem. O volume de fitomassa produzido nos 85 dias do experimento através do plantio de *Canavalia ensiformes* e *Crotalaria juncea* está acima de 77 kg ha⁻¹ dia⁻¹, e permitiu aumentar a disponibilidade de N para a pastagem e para o cultivo de milho na seqüência.

3.6. AGRADECIMENTO

Agradecemos a Estação Experimental de Pastos e Forragens Índio Hatuey – EEIH” pela disponibilidade para a instalação e pelas contribuições na realização do experimento. Aos servidores da EEIH pelo apoio a amizade. Ao Prof. Dr. Pedro Pablo del Pozo Rodrigues pelo apoio. Esta pesquisa teve o apoio financeiro do programa CAPES MES/Cuba.

CONSIDERAÇÕES GERAIS

A estrutura fundiária da região, caracterizada por estabelecimentos com área próximo a 20 ha de terra, com área útil menor que 15 ha, e presença significativa de áreas acidentadas (TASSINARI et al., 1996; UBERTI, 2005), é uma das forças que moldam os sistemas produtivos adotados, tanto na produção de leite, quanto no cultivo de lavouras. A busca constante de renda suficiente ou desejável para o sustento próprio, da mesma forma, corrobora para desenhar as características da agricultura. Somam-se ainda as políticas públicas, usadas como ferramentas para incentivar os sistemas de produção e os modelos da agricultura “adequados” para cada região. Além disso, temos a difusão da necessidade de tecnificar e modernizar a produção. Criou-se assim um modelo de agricultura cujas regras aceitas são de que é bom ser moderno, tecnificado e produzir o máximo. Aquele que não segue esses pressupostos é considerado atrasado e ultrapassado. Assim criou-se também o conceito de “milho no limpo produz mais”, e passou-se a utilizar cada vez mais agrotóxicos para eliminar toda e qualquer planta espontânea.

As citadas forças ajudaram a moldar os sistemas de produção de leite na região, que buscam a máxima produção, com uso intensivo de “tecnologias modernas”. Nesta região, é comum encontrar exemplos de aplicação de insumos tidos como “modernos” em excesso, e ainda, tecnologias inadequadas sendo adotadas massivamente. É muito comum também observar que há uma grande alternância ou sucessão no uso de tecnologias e insumos. Como exemplos, podemos inúmeras espécies de pastagens modernas e “milagrosas”, encontradas nos estabelecimentos durante as visitas, que são amplamente difundidas ano sim, ano não, além do uso de fertilizantes sem critérios técnicos. Esta alternância, promovida por interesses comerciais, já criou os ciclos da Tansânia, do Pioneiro, do Tifton, da Braquiária MG5, etc. A cada onda, muitos agricultores substituem grande parte das suas pastagens pelas mais “modernas”, e não raramente, a nova é pior que a anterior. Surge por isso uma questão: Estamos diante da onda de produção de silagem?

Não podemos negar que a produção de silagem também sofre influência dessas forças. Durante os últimos anos, ora a silagem é fomentada como alternativa de aumentar a produção por área, ora é fomentada como alternativa de evitar leite ácido, ou leite LINA, ora para suplementar as pastagens, etc. Nas entrevistas com os agricultores, foram inúmeras as justificativas para a confecção da silagem. Inúmeras campanhas de produção de silagem foram desenvolvidas na região, além

de lançamentos de variedades de milho especiais para silagem, e dos incentivos públicos na forma de prestação de serviços e compra de equipamentos que foram implementados a partir dos anos 80. A tudo isso, e não a questões técnicas, nutricionais, econômicas, ambientais ou científicas, se deve grande parte do crescimento do uso da silagem na alimentação dos animais, que neste período saiu da insignificância a alimento mais importante. Isso ficou evidente com os resultados das 22 entrevistas realizadas com os agricultores, onde poucos demonstraram preocupações econômicas ou nutricionais, e nenhum demonstrou preocupação ambiental ou científica para com a produção e o uso da silagem. Esta falta de critérios pode causar aumento nos custos de produção, diminuição na resposta de produção em relação à silagem consumida pelos animais e redução da sustentabilidade da atividade a longo prazo, especialmente pela degradação do solo causada pela deficiência no uso de práticas conservacionistas.

Não fez parte dos nossos objetivos definir a quantidade de silagem que deve compor a dieta das vacas. No entanto, diante das inúmeras evidências dos dados da nossa pesquisa e da literatura, acreditamos que o uso intenso da silagem, a ponto de ser um dos principais alimentos, merece ser questionado, com base nos seguintes aspectos: a) as condições climáticas permitem uma produção de pastagens de alta qualidade e quantidade durante todo o ano; b) as áreas com aptidões de uso para a produção de milho para silagem são limitadas e escassas; c) o uso de maior proporção de pastagens na dieta não diminui a produtividade das vacas; d) a produtividade de silagem de milho não é maior do que a produção da maioria das pastagens perenes usadas na região; e) o custo de produção da silagem é maior que o custo de produção da pastagem, e f) os impactos ambientais negativos na produção de silagem são maiores que os do cultivo de pastagens perenes polifíticas. Por todas essas questões, acreditamos que seja necessário diminuir a participação da silagem e aumentar a participação das pastagens perenes na composição da dieta das vacas. As políticas públicas que atualmente são voltadas para o incentivo à produção de silagem deveriam ser redirecionadas para a produção de pastagens perenes polifíticas, ou outros sistemas sustentáveis.

Na maioria dos casos, a justificativa do aumento da produção de silagem é a busca pelo aumento da produção de leite, ou ainda o limite da área de terra disponível para cultivo. Quando a área do estabelecimento é limitada, como é na maioria dos casos, mais limitada ainda são as áreas próprias para a produção da silagem. Assim, a área utilizada para produção de silagem na safra e na safrinha também é utilizada para

pastagens anuais no inverno. Enquanto isso, outra parte da área do estabelecimento, geralmente aquela que não atende às condições para a produção de silagem, é transformada em pastagens perenes (ver em apêndice: Figura 9, um exemplo do estabelecimento participante do primeiro estudo). Existem também, em alguns casos, áreas planas com pastagens perenes ou anuais, mas isso se restringe aos estabelecimentos maiores ou com maior porcentagem de área das classes de aptidão 1 e 2. São, portanto, dois sistemas separados e discordantes dentro de cada estabelecimento: a área de produção de silagem e a área de pastagem perene. Em cada uma dessas áreas adotam-se diferentes manejos do solo, e são usadas diferentes doses de fertilizantes e agrotóxicos. Isso implica em diferentes impactos ambientais, sociais e econômicos dentro do mesmo estabelecimento.

Há pouco espaço para alterar o sistema de produção de silagem nesses estabelecimentos. Qualquer recomendação de rotação de cultura ou cobertura de solo na área da silagem fica prejudicada pela lógica de produzir o máximo. A alternância entre áreas de produção de silagem está prejudicada pela falta de área disponível, ou pelos prejuízos causados na eliminação de pastos perenes. O pouco espaço de mudança que há implica em alterar a lógica do pensamento imediatista dos agricultores. Mas antes, a dos técnicos, donos de laticínios, políticos e comerciantes. Implica em voltar o pensamento e as ações na direção de produzir melhor, e não de produzir o máximo. Implica em romper a lógica da “lavoura limpa”, pois o plantio na pastagem terá também plantas espontâneas, como pode ser observado no apêndice, Figura 10. Uma das estratégias que visualizamos como viável neste contexto é o de produzir a silagem em áreas de pastagem perene, sem prejuízo à pastagem.

A estratégia de avaliar a produção de silagem ou grãos através do plantio de milho sobre pastagens perenes polifíticas é nova e diferente das tantas outras já estudadas. Essa ideia, que a princípio foi zombada, permitirá eliminar essa grande separação de sistemas dentro dos estabelecimentos, como também diminui os custos de produção e os impactos ambientais do sistema de produção de silagem, e consequentemente, da cadeia de produção de leite. É uma forma de aumentar a produção no verão, sem destruir as pastagens perenes, que continuarão a produzir normalmente depois da colheita do milho.

O uso de apenas dois manejos de plantio se deve pela limitação de tempo e de área experimental. Por isso, diante das evidências dos efeitos da competição das pastagens já implantadas sobre o milho, adotamos também alguns procedimentos para favorecer o crescimento do milho. O primeiro procedimento foi a realização de um tratamento pré-germinativo

na semente do milho, com início 24 h antes do plantio. Este tratamento consistiu em imergir as sementes em água durante 6 horas, mantendo-as úmidas até o momento do plantio. Com este procedimento, providenciamos que o tempo entre o plantio e a emergência fosse reduzido em 24 h. O segundo procedimento foi no manejo das pastagens antes do plantio. Estas foram segadas (roçadas) no seu tempo ótimo de repouso a 5 cm do solo, ao invés de pastoreadas, evitando assim a aceleração do crescimento das pastagens pelo efeito da saliva (MATCHES, 1992). No plantio, além do PD, adicionamos um tratamento com raspagem rente ao solo de 15 cm de largura, ao longo da linha do plantio (tratamento RR), com o objetivo de retardar seu crescimento e diminuir a competição inicial por luz. Tivemos muitas dificuldades em realizar a raspagem da pastagem rente ao solo através do equipamento que acoplamos à semeadeira, sendo necessário realizá-lo manualmente com auxílio de enxada, nas áreas onde o equipamento não foi efetivo. Não obstante a este esforço e das evidências científicas do efeito inicial da competição, este tratamento não alterou as variáveis avaliadas, como ficou demonstrados nos resultados já apresentados.

O experimento possibilitou as primeiras avaliações desta proposta. Além dos dois métodos de plantio, foram testados quatro níveis de adubação, uma variedade de milho, uma composição de pastagens, um tipo de solo, apenas uma época de plantio, uma região climática, tudo num limite temporal de apenas dois anos. Não obstante aos resultados encontrados nesta nossa pesquisa, há muito espaço ainda a ser percorrido para firmar ou rejeitar a hipótese da viabilidade da produção de silagem em pastagens perenes polifíticas.

A adubação utilizada para o plantio do milho foi baseada na análise do solo realizada antes do plantio, com base no *Manual de adubação e calagem para os estados do Rio Grande do Sul e Santa Catarina* (CQFS RS/SC, 2004). Entretanto, as análises realizadas com o solo coletado durante o experimento apresentam resultados diferentes, com requisições de nutrientes em quantidades não iguais às da análise anterior, especialmente em relação ao P e K. Por conta disso utilizamos menos P e K do que o requerido pelo milho. Além disso foram desconsiderados os requerimentos nutricionais da pastagem. Isso provavelmente foi um dos fatores que impossibilitou uma maior produção de biomassa e de milho em grão.

A produção de biomassa através do plantio de milho em área de pastagem perene polifítica, por fim, apresentou poucos ataques de pragas e de doenças durante o seu desenvolvimento. No primeiro ano, houve um início de ataque de *Spodoptera frugiperda* no milho, mas a ação do seu

principal inimigo natural, a tesourinha (*Doru luteipes*), foi o suficiente para evitar danos ao milho. Não foi utilizado inseticida ou fungicida nos dois anos do experimento.

Os dados apresentados no capítulo 4 referem-se cada um à um período específico dentro de uma safra (ou ano agrícola). É fundamental, entretanto, que se analise também a produção de todo o ano, para eventualmente comparar com outros estudos. Ao considerar a produção anual, observamos que a produção não deferiu entre os tratamentos SMAZ, RNAZ E RNCP, com média de 13,48 t MS ha⁻¹ ano⁻¹. Desta forma, apesar da diferença da produção da pastagem após a colheita do milho, a produção final não foi afetada. Como se vê, não há necessidade de renovação das pastagens, tão pouco de revolvimento de solo ou uso de agrotóxicos para eliminar plantas indesejáveis. A pastagem continua seu desenvolvimento normalmente, e assim permite uma perfeita integração entre os animais, a produção de milho e as pastagens perenes, através do pastoreio racional Voisin, como pode ser observado na figura 11 do apêndice.

Para o problema apresentado no capítulo 2, sugerimos e demonstramos um sistema de produção viável econômico e ambientalmente (Capítulo 3). Temos perfeita noção da novidade que esta proposta representa, já que não segue aos paradigmas tradicionalmente aceitos, especialmente quanto à necessidade de “limpeza” do milho para a boa produção. Para que esta proposta seja difundida e implantada amplamente nos estabelecimentos, acreditamos que seja necessário que esta receba no mínimo os incentivos equivalentes aos oferecidos para a confecção de silagem. Além disso, é fundamental que mais estudos sejam realizados, inclusive com o uso de plantio anterior de leguminosas, como por exemplo aquele apresentado no capítulo 4.

Além dos resultados do nosso estudo, temos observado que a ideia já está sendo testada por outros profissionais e agricultores, mostrando que a barreira da negação já foi em parte superada. Conforme relato do extensionista da Epagri do município de Tunápolis (Carvalho, 2017 – informe pessoal)¹¹, a ideia foi testada numa área de Tifton, com excelentes resultados. Segundo Carvalho (2017), a produção de biomassa de milho para silagem plantado na área de Tifton rendeu em média 5 a 6 t ha⁻¹ acima do milho cultivado em área contígua no sistema convencional (Anexo B, figura 8). Além da produção maior, não houve ataque de pragas na área

¹¹ Diego Carvalho, Eng^o Agr^o, extensionista da Epagri, escritório local de Tunápolis, SC.

com Tifton, enquanto na outra área foi necessário aplicar inseticida para controlar as lagartas.

CONCLUSÕES

A silagem tem grande importância na alimentação dos animais na produção de leite. No Oeste de Santa Catarina representa aproximadamente 50% da área ocupada para a atividade, e se somada à ração, cuja formulação possui alta participação de milho, representa mais de 50% na alimentação total fornecida aos animais.

O sistema de produção de silagem utilizado no Oeste de Santa Catarina, que é semelhante aos utilizados em outras regiões e países, sem cobertura adequada do solo, sem rotação de culturas, e com altos volumes de insumos como agrotóxicos e fertilizantes sintéticos, gera impactos ambientais que não atendem às demandas da sustentabilidade.

Estas duas questões alertam para a necessidade de estudos que busquem soluções produtivas mais adequadas. Uma das alternativas é o cultivo de milho em áreas de pastagem perene, cujos resultados ambientais e econômicos são apresentados nesta tese, com um forte indicativo de viabilidade. O volume de produção desta alternativa foi muito próximo ao obtido pelos agricultores na mesma região, entretanto, com os custos ambientais muito menores. Os resultados mostram que

A produção mais sustentável de silagem, além de necessária, é viável e pode ser integrada em pastagens perenes, sem comprometer a oferta de forragem no período de maior produção, satisfazendo assim a demanda de forragem no período de menor produção e, portanto, elimina a necessidade de manter uma área exclusiva para produção de silagem.

REFERÊNCIAS

- AGEGNEHU, G. et al. Benefits of biochar, compost and biochar-compost for soil quality, corn yield and greenhouse gas emissions in a tropical agricultural soil. **Science of the Total Environment**, v. 543, p. 295–306, 2016.
- AL-MARASHDEH, O.; GREGORINI, P.; EDWARDS, G. R. Effect of time of corn silage supplementation on herbage intake, milk production, and nitrogen excretion of grazing dairy cows. **Journal of Dairy Science**, v. 99, n. 9, p. 7123–7132, set. 2016.
- ALTIERI, M. A. **Agroecologia: a dinâmica produtiva da agricultura sustentável**. Porto Alegre: UFRGS, 1998a.
- ALTIERI, M. A. Agroecology: the science of natural resource management for poor farmers in marginal environments. **Agriculture, Ecosystems and Environment**, v. 93, p. 1–24, 2002.
- ALTIERI, M. A. **Agroecologia: Bases científicas para una agricultura sostenible**. 4. ed. Montevideo: Nordan Comunidad, 1998b.
- ALVARENGA, R. C. et al. Plantas de cobertura de solo para sistema plantio direto. **Plantio Direto**, v. 22, n. 208, p. 25–36, 2001.
- ALVARES, C. A. et al. Köppen's climate classification map for Brazil. **Meteorologische Zeitschrift**, v. 22, n. 6, p. 711–728, 2013.
- ANDERSON, J. M.; INGRAM, J. S. I. **Tropical Soil Biology and Fertility: A Handbook of Methods**. 1993.
- ANVISA; UFPR. **Mercado de agrotóxico e regulação**. Disponível em: <http://www.consea.pr.gov.br/arquivos/File/anexo4agrotoxicosconsea.pdf>. Acesso em: 10 jul. 2017.
- AOAC. In official methods of analysis of AOAC. 15. ed. Arlington, V.A: 1995. v. 1
- ASSMANN, T. S. et al. Fixação biológica de nitrogênio por plantas de trevo (*Trifolium spp*) em sistema de integração lavoura-pecuária no Sul do Brasil. **Revista Brasileira de Zootecnia**, v. 36, n. 5, p. 1435–1442, 2007.
- BACENETTI, J.; FUSI, A. The environmental burdens of corn silage production: Influence of different ensiling techniques. **Animal Feed Science and Technology**, v. 204, p. 88–98, 2015.
- BALCÃO, L. F. et al. Characterisation of smallholding dairy farms in southern Brazil. **Animal Production Science**, v. 57, n. 4, p. 735, 2017.

- BARUT, Z. B.; ERTEKIN, C.; KARAAGAC, H. A. Tillage effects on energy use for corn silage in Mediterranean Coastal of Turkey. **Energy**, v. 36, n. 9, p. 5466–5475, 2011.
- BASSET-MENS, C.; LEDGARD, S.; BOYES, M. Eco-efficiency of intensification scenarios for milk production in New Zealand. **Ecological Economics**, v. 68, n. 6, p. 1615–1625, abr. 2009.
- BASTOS, L. H. P. et al. Possíveis fontes de contaminação do alimento leite, por agrotóxicos, e estudos de monitoramento de seus resíduos: uma revisão nacional. *Caderno de Saúde Coletiva*, v. 19, n. 1, p. 51–60, 2011.
- BELFLOWER, J. B. et al. A case study of the potential environmental impacts of different dairy production systems in Georgia. **Agricultural Systems**, v. 108, p. 84–93, 2012.
- BENCHAAR, C. et al. Methane production, nutrient digestion, ruminal fermentation, N balance, and milk production of cows fed timothy silage- or alfalfa silage-based diets. **Journal of Dairy Science**, v. 97, n. 10, p. 6463–74, out. 2014.
- BERNARDES, T. F. et al. Produção e uso de silagens em fazendas leiteiras em três mesorregiões do Estado de Minas Gerais. **Revista de Ciências Agrárias**, v. 56, n. 2, p. 133–138, 2013.
- BLANCO-CANQUI, H. et al. Rapid changes in soil carbon and structural properties due to stover removal from no-till corn plots. **Soil Science**, v. 171, n. 6, p. 468–482, 2006.
- BLANCO-CANQUI, H.; LAL, R. Corn stover removal impacts on micro-scale soil physical properties. **Geoderma**, v. 145, n. 3–4, p. 335–346, jun. 2008.
- BLANCO-CANQUI, H.; LAL, R. Soil and crop response to harvesting corn residues for biofuel production. **Geoderma**, v. 141, n. 3–4, p. 355–362, out. 2007.
- BOENI, M. et al. Organic matter composition in density fractions of Cerrado Ferralsols as revealed by CPMAS ¹³C NMR: Influence of pastureland, cropland and integrated crop-livestock. **Agriculture, Ecosystems and Environment**, v. 190, 2014.
- BOHLEN, P. J.; HOUSE, G. (EDS.). **Sustainable agroecosystem management: Integrating ecology, economics, and society**. CRC Press, 2009.
- BONJORNO, I. I. et al. Efeito de plantas de cobertura de inverno sobre cultivo de milho em sistema de plantio direto. Effect of winter cover crops

- on corn growing under zero-tillage system. **Revista Brasileira de Agroecologia**, v. 5, n. 2, p. 99–108, 2010.
- BOT, A.; BENITES, J. **The importance of soil organic matter: Key to drought-resistant soil and sustained food production**. Roma: FAO, 2005.
- BROOKER, R. W. et al. Facilitation and sustainable agriculture: A mechanistic approach to reconciling crop production and conservation. **Functional Ecology**, v. 30, n. 1, p. 98–107, 2016.
- BUTCHART, S. H. M. et al. global biodiversity: indicators of recent declines. **Science**, v. 328, n. 5982, p. 1164–1168, 2010.
- BUTOLA, J. S.; BADOLA, H. K. Effect of pre-sowing treatment on seed germination and seedling vigour in *Angelica glauca*, a threatened medicinal herb. **Current Science**, v. 87, n. 6, p. 796–799, 2004.
- CAMARGO, G. G. T.; RYAN, M. R.; RICHARD, T. O. M. L. Energy use and Greenhouse Gas Emissions from crop production using the farm energy analysis tool. **BioScience**, v. 63, n. 4, p. 263–273, 2013.
- CAPORAL, F. R. **Agroecologia: uma nova ciência para apoiar a transição a agriculturas mais sustentáveis**. Brasília, 2009.
- CARNEIRO, C. et al. Produção de fitomassa de diferentes espécies de cobertura e suas alterações na atividade microbiana de solo de cerrado. **Bragantia**, v. 67, n. 2, p. 455–462, 2008.
- CARVALHO, I. Q. DE; JOBIN, C. C. Como reduzir as perdas? **Inforleite**, v. abril, p. 44–47, 2013.
- CASTOLDI, G. et al. Sistemas de cultivo e uso de diferentes adubos na produção de silagem e grãos de milho. **Acta Scientiarum. Agronomy**, v. 33, n. 1, p. 139–146, 2 mar. 2011.
- CASTRO, C. R. T. DE et al. Produção forrageira de gramíneas cultivadas sob luminosidade reduzida. **Revista Brasileira de Zootecnia**, v. 28, n. 5, p. 919–927, 1999.
- CAVALIERI, K. M. V. et al. Long-term effects of no-tillage on dynamic soil physical properties in a Rhodic Ferrasol in Parana, Brazil. **Soil & Tillage Research**, v. 103, p. 158–164, 2009.
- CECCON, G. et al. Legumes and forage species sole or intercropped with corn in soybean-corn succession in midwestern Brazil. **Revista Brasileira de Ciencia do Solo**, v. 37, n. 1, p. 204–212, 2013.
- CECCON, G. et al. Yield of late season corn at reduced spacing with populations of corn and *brachiaria ruziziensis*. **Revista Brasileira de Milho**

e **Sorgo**, v. 13, n. 3, p. 326–335, 2014.

CHAPMAN, D. F. et al. Interannual variation in pasture growth rate in Australian and New Zealand dairy regions and its consequences for system management. **Animal Production Science**, v. 49, p. 1071–1079, 2009.

CHIEZA, E. D. et al. Yield and economic aspects of corn and sunn hemp intercropped in different seeding intervals under organic management. **Revista Ceres**, v. 64, n. 2, p. 189–196, 2017.

CHOBTANG, J. et al. Life cycle environmental impacts of high and low intensification pasture-based milk production systems: A case study of the Waikato region, New Zealand. **Journal of Cleaner Production**, v. 140, p. 1–11, 2016.

CONAB. **Custos de produção agrícola: a metodologia da Conab**. Brasília, DF: 2010.

CONANT, R. T.; SIX, J.; PAUSTIAN, K. Land use effects on soil carbon fractions in the southeastern United States. I. Management-intensive versus extensive grazing. **Biology and Fertility of Soils**, v. 38, n. 6, p. 386–392, 2003.

COSTA, J. H. C. et al. A survey of management practices that influence production and welfare of dairy cattle on family farms in southern Brazil. **Journal of Dairy Science**, v. 96, n. 1, p. 307–317, 2013.

COSTA, N. R. et al. Custo da produção de silagens em sistemas de integração lavoura-pecuária sob plantio direto. **Rev. Ceres, Viçosa**, v. 62, n. 1, p. 9–19, 2015.

COSTA, N. R. et al. Yield and nutritive value of the silage of corn intercropped with tropical perennial grasses. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v. 52, n. 1, p. 63–73, 2017.

CQFS RS/SC. **Manual de adubação e calagem para os estados do Rio Grande do Sul e Santa Catarina**. 10. ed. Porto Alegre: Sociedade Brasileira de Ciência do Solo/ Núcleo Regional Sul, 2004.

DAMIAN, J. M. et al. N, P or K doses on the dry matter and crude protein yield in corn and sorghum for silage. **Pesquisa Agropecuária Tropical**, v. 47, n. 1, p. 53–61, 2017.

DE BOER, I. et al. Greenhouse gas mitigation in animal production: towards an integrated life cycle sustainability assessment. **Current Opinion in Environmental Sustainability**, v. 3, n. 5, p. 423–431, out. 2011.

DE SCHUTTER, O. **Agroecologia e o Direito Humano à Alimentação**

Adequada: Tradução do relatório de Olivier de Schutter: relator especial da ONU para o direito à alimentação. Caderno SISAN 01/2012. BRASIL. Ministério do Desenvolvimento Social e Combate à Fome (MDS). Secretaria de Segurança Alimentar e Nutricional (SESAN). Brasília. Brasília: 2012.

DEMANET, R. et al. Seasonal variation of the productivity and quality of permanent pastures in adisols of temperate regions. **Journal of Soil Science and Plant Nutrition**, v. 15, n. 1, p. 111–128, 2015.

DIAS, M. A. N.; MONDO, V. H. V.; CICERO, S. M. Vigor de sementes de milho associado à mato-competição. Corn seed vigor and weed competition. **Revista Brasileira de Sementes**, v. 32, n. 2, p. 93–101, 2010.

DUCHENE, O.; VIAN, J.-F.; CELETTE, F. Intercropping with legume for agroecological cropping systems: Complementarity and facilitation processes and the importance of soil microorganisms. A review. **Agriculture, Ecosystems and Environment**, v. 240, p. 148–161, 2017.

DUFLOTH, J. H.; VIEIRA, S. A. Nutritional quality, dry matter production, animal performance and economic “missioneira gigante” (*Axonopus catharinensis*) in the south of Santa Catarina. **Revista Tecnologia e Ambiente**, v. 18, p. 56–69, 2012.

DUIKER, S. W. Diagnosing Soil Compaction Using a Penetrometer. **Agronomy Facts**, v. 63, n. 4, p. 1–4, 2002.

EMATER RS. **Área, produção, rendimento e valor bruto da produção. Rio Grande Do Sul – 1970 / 2012.** Disponível em: <www.emater.tcche.br/site/arquivos_pdf/serie/serie_3320161007.pdf>. Acesso em: 3 out. 2017.

EMBRAPA SOLOS. **Sistema brasileiro de classificação de solos.** 3ª ed. 2013.

FAO IFAD AND WFP. **The State of Food Insecurity in the World: Meeting the 2015 international hunger targets: taking stock of uneven progress.** Roma: FAO, 2015.

FERRIS, C. P. et al. Effect of offering silage during housing at night on the performance of grazing dairy cows and on labour requirements. **Grass and Forage Science**, v. 63, n. May 2007, p. 138–151, 2008.

FLARESSO, J. A.; GROSS, C. D.; ALMEIDA, E. X. DE. Cultivares de Milho (*Zea mays* L.) e Morgo (*Sorghum bicolor* (L.) Moench.) para ensilagem no Alto Vale do Itajaí, Santa Catarina. **R. Bras. Zootec.**, v. 29, n. 6, p. 1608–1615, 2000.

FOLEY, J. A et al. Solutions for a cultivated planet. **Nature**, v. 478, n. 7369, p. 337–42, 2011.

FREIRE, F. M.; VASCONCELLOS, C. A.; FRANÇA, G. E. DE. Manejo da fertilidade do solo em sistema plantio direto. **Informe Agropecuário, Belo Horizonte**, v. 22, n. 208, p. 49–62, 2001.

FREITAS, F. C. L. et al. Formação de pastagem via consórcio de Brachiaria brizantha com o milho para silagem no sistema de plantio direto. **Planta Daninha**, v. 23, n. 1, p. 49–58, 2005.

FREITAS, P. L. DE; LANDERS, J. N. The transformation of agriculture in brazil through development and adoption of zero tillage conservation agriculture. **International Soil and Water Conservation Research**, v. 2, n. 1, p. 35–46, 2014.

GAZOLLA, P. R. et al. Frações da matéria orgânica do solo sob pastagem, sistema plantio direto e integração lavoura-pecuária. *Semina: Ciências Agrárias*, v. 36, n. 2, p. 693–704, 2015.

GENRO, T. C. M. et al. Produção e qualidade de silagens de híbridos de milho (*Zea mays*) e de híbridos de sorgo (*Sorghum bicolor*). **Ciencia Rural, Santa Maria**, v. 25, n. 3, p. 461 a 464, 1995.

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

GIANESSI, L. P. The increasing importance of herbicides in worldwide crop production. **Pest Management Science**, v. 69, n. 10, p. 1099–1105, 2013.

GIULIANO, S. et al. Low-input cropping systems to reduce input dependency and environmental impacts in corn production: A multi-criteria assessment. **European Journal of Agronomy**, v. 76, p. 160–175, 2016.

GLIESSMAN, S. R. Agroecología: plantando las raíces de la resistencia. **Agroecología**, v. 8, n. 2, p. 19–26, 2013.

GLIESSMAN, S. R. **Agroecologia: processos ecológicos em agricultura sustentável**. Porto Alegre: Ed. Universidade/ UFRGS, 2002.

GOERING, H. K.; VAN SOEST, P. J. **Forage fiber analyses (Apparatus, Reagents, Procedures, and Some Applications)**. ARS, USDA, Washington, D.C: Agric. Handbook No. 379., 1970.

GOH, K. M.; BRUCE, G. E. Comparison of biomass production and biological nitrogen fixation of multi-species pastures (mixed herb leys) with

perennial Ryegrass-White Clover pasture with and without irrigation in Canterbury, New Zealand. **Agriculture, Ecosystems and Environment**, v. 110, n. 3–4, p. 230–240, 2005.

GOMES, M.; MONTAGNER, D. B.; TEIXEIRA, D. parâmetros produtivos de uma pastagem temperada submetida a alternativas de utilização. **Revista Brasileira de Zootecnia**, v. 33, n. 6, p. 1386–1395, 2004.

GRANELLA, V. et al. Resíduos de agrotóxicos em leites pasteurizados orgânicos e convencionais. **Semina: Ciências Agrárias**, v. 34, n. 4, p. 1731–1739, 2013.

GREGORINI, P. et al. Review: The interaction of diurnal pattern , ruminal metabolism , nutrient supply , and management in cattle. **The Professional Animal Scientist**, v. 24, n. 4, p. 308–318, 2008.

GREGORINI, P.; GUNTER, S. A; BECK, P. A. Matching plant and animal processes to alter nutrient supply in strip-grazed cattle: timing of herbage and fasting allocation. **Journal of animal science**, v. 86, n. 4, p. 1006–20, 2008.

GUIMARÃES, M. DE A.; DIAS, D. C. F. DOS S.; LOUREIRO, M. E. Hidratação de sementes. **Revista Trópica - Ciências Agrárias e Biológicas**, v. 2, n. 1, p. 31–39, 2008.

GUYADER, J. et al. Comparison of greenhouse gas emissions from corn- and barley-based dairy production systems in Eastern Canada. **Agricultural Systems**, v. 152, p. 38–46, 2017.

GUZMÁN, E. S. Uma estratégia de sustentabilidade a partir da Agroecologia. **Agroecologia e Desenvolvimento Rural Sustentável**, v. 2, n. 1, p. 35–45, 2001.

HART, K. J. et al. The influence of grass silage-to-corn silage ratio and concentrate composition on methane emissions, performance and milk composition of dairy cows. **Animal**, v. 9, n. 6, p. 983–991, 2015.

HEMP, S. et al. **Corn varieties evaluation in organic cultivation system in Santa Catarina State, Brazil – Harvest 2010-2011**. Resumos do VII Congresso Brasileiro de Agroecologia. **Anais...**Fortaleza/CE: 2011

HERNÁNDEZ, I. et al. Efecto de la adición en el suelo del follaje de *Leucaena leucocephala* E en la producción de *Panicum maximum*. **Pastos y Forrajes**, 1999.

HEYDECKER, W.; HIGGINS, J.; GULLIVER, R. L. Accelerated Germination by Osmotic Seed Treatment. **Nature**, v. 246, n. 5427, p. 42–44, 2 nov. 1973.

HIETALA, S. et al. Carbon footprints of organic dairying in six European countries - real farm data analysis. **Organic Agriculture**, v. 5, n. 2, p. 91–100, 2015.

HONORATO, L. A. et al. Strategies used by dairy family farmers in the south of Brazil to comply with organic regulations. **Journal of Dairy Science**, v. 97, n. 3, p. 1319–27, 2014.

HOUSHYAR, E. et al. Silage corn production in conventional and conservation tillage systems. Part I: Sustainability analysis using combination of GIS/AHP and multi-fuzzy modeling. **Ecological Indicators**, v. 39, p. 102–114, 2014.

HUTTON, J. B.; JURY, K. E. Studies of the nutritive value of New Zealand dairy pastures. **New Zealand Journal of Agricultural Research**, v. 7, n. 4, p. 583–595, 1964.

HUTTON, J. B.; JURY, K. E.; DAVIES, E. B. Studies of the nutritive value of New Zealand dairy pastures. **New Zealand Journal of Agricultural Research**, v. 8, n. 3, p. 479–496, 1965.

IKERD, J. E. Rethinking de First Principles of Agroecology. Ecological, Social, and Economic. In: BOHLEN, P. J.; HOUSE, G. (Eds.). . **Sustainable Agroecosystem management. Integrating ecology, economics, and society**. 1. ed. London, New York: CRC Press, 2009.

IPCC. **Climate Change 2013: The Physical Science Basis. Contribution of Working Group I to the Fifth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change**. United Kingdom and New York, NY, USA: Cambridge, 2013.

IPCC. **Climate Change 2014: Syntesis Report. Contribution of Working Groups I, II, III to the Fifth Assessment Report of The Intergovernmental Panel of Climate Change**. Geneva, Switzerland.

ISAAA. **Global Status of Commercialized Biotech/GM Crops**. ISAAA Brie ed. Ithaca, NY: 2016

ISBELL, F. et al. Benefits of increasing plant diversity in sustainable agroecosystems. **Journal of Ecology**, v. 105, p. 871–879, 2017.

JOHNSON, L. M. et al. Corn silage management: effects of maturity, inoculation, and mechanical processing on pack density and aerobic stability. **Journal of Dairy Science**, v. 85, n. 2, p. 434–444, 2002.

KAISER, A. G.; MORAN, J. B.; PILTZ, J. W. Feeding silage to dairy cows. In: KAISER, A. G. et al. (Eds.). . **Succesfull Silage**. 2. ed. Orange: Dairy Australia and NSW Department of Primary Industries, 2004. p. 336–357.

- KHAN, N. A. et al. Causes of variation in fatty acid content and composition in grass and corn silages. **Animal Feed Science and Technology**, v. 174, n. 1–2, p. 36–45, 2012.
- KHAN, N. A. et al. Nutritive value of corn silage in relation to dairy cow performance and milk quality. **Journal of the Science of Food and Agriculture**, v. 95, n. April, p. 238–252, 2015.
- KIELING, A. et al. Plantas de cobertura de inverno em sistema de plantio direto de hortaliças sem herbicida: efeitos sobre plantas espontâneas e na produção de tomate. **Ciência Rural**, v. 39, n. 7, p. 2207–2209, 2009.
- KIM, S.; DALE, B. E.; KECK, P. Energy requirements and Greenhouse Gas Emissions of Corn production in the USA. **Bioenergy Research**, v. 7, n. 2, p. 753–764, 2014.
- KLEINMANS, J. J. et al. Brief communication: Feed value of corn silage in New Zealand - a review. **Proceedings of the New Zealand Society of Animal Production**, v. 76, p. 100–102, 2016.
- KLEINSCHMIT, D. H.; KUNG JR, L. A meta-analysis of the effects of *Lactobacillus buchneri* on the fermentation and aerobic stability of corn and grass and small-grain silages. **Journal of Dairy Science**, v. 89, n. 10, p. 4005–4013, 2006.
- KUHNEN, S. et al. Farm management in organic and conventional dairy production systems based on pasture in Southern Brazil and its consequences on production and milk quality. **Animals**, v. 5, p. 479–494, 2015.
- KUMAR, K.; GOH, K. M. Crop residues and management practices: effects on soil quality, soil nitrogen dynamics, crop yield, and nitrogen recovery. **Advances in Agronomy**, v. 68, p. 197–319, 1999.
- LAIRD, D. A.; CHANG, C. W. Long-term impacts of residue harvesting on soil quality. **Soil and Tillage Research**, v. 134, p. 33–40, 2013.
- LAL, R. Physical management of soils of the tropics: Priorities for the 21st century. **Soil Science**, v. 165, n. 3, p. 191–207, 2000.
- LAL, R.; REICOSKY, D. C.; HANSON, J. D. Evolution of the plow over 10,000 years and the rationale for no-till farming. **Soil and Tillage Research**, v. 93, n. 1, p. 1–12, 2007.
- LANGE, A. et al. Productivity of outonal-corn intercropped with grass marandu according to nitrogen sources and rates. **Revista Brasileira de Milho e Sorgo**, v. 13, n. 1, p. 35–47, 2014.

- LANGE, M. et al. Plant diversity increases soil microbial activity and soil carbon storage. **Nature communications**, v. 6, n. Div, p. 6707, 2015.
- LAVELLE, P. et al. Soil invertebrates and ecosystem services. **European Journal of Soil Biology**, v. 42, p. S3–S15, 2006.
- LEDGARD, S. F.; STEELE, K. . W. Biological nitrogen fixation in mixed legume / grass pastures. **Plant and Soil**, v. 141, p. 137–153, 1992.
- LENTH, R. V. Least-Squares Means: The R Package lsmeans. *Journal of Statistical Software*, v. 69, n. 1, p. 1–33, 2016.
- LOMBARDI-NETO, F. et al. Rotação de culturas: Análise estatística de um experimento de longa duração em campinas (SP). **Bragantia**, v. 61, n. 2, p. 127–141, 2002.
- LOSS, A. et al. Quantificação do carbono das substâncias húmicas em diferentes sistemas de uso do solo e épocas de avaliação. **Bragantia, Campinas**, v. 69, n. 4, p. 913–922, 2010.
- LUO, Z.; WANG, E.; SUN, O. J. Can no-tillage stimulate carbon sequestration in agricultural soils? A meta-analysis of paired experiments. **Agriculture, Ecosystems and Environment**, v. 139, n. 1–2, p. 224–231, 2010.
- LUPATINI, G. C. et al. Avaliação do desempenho agronômico de híbridos de milho (*Zea mays*, L.) para produção de silagem. **Revista Brasileira de Milho e Sorgo**, v. 3, n. 2, p. 193–203, 2004.
- MACEDO, M. C. M. Integração lavoura e pecuária: o estado da arte e inovações tecnológicas. **Revista Brasileira de Zootecnia**, v. 38, n. supl. especial, p. 133–146, 2009.
- MACHADO FILHO, L. C. P. et al. **Produção intensiva de suínos em pastagens**. I Simpósio Nacional Sobre Produção Animal e Ambiente. **Anais...**Belo Horizonte: UFMG, 2007
- MACHADO FILHO, L. C. P. **Experiência prática de produção de silagem em sistema de cultivo de milho sobre pastagens polifíticas no Planalto Catarinense**, 2017.
- MACHADO FILHO, L. C. P.; HÖTZEL, M. J.; RIBAS, C. C. **Transição para uma agropecuária agroecológica**. II Simpósio Brasileiro de Agropecuária Sustentável, 2010, Viçosa, MG. **Anais...**Viçosa, MG: Arka Editora, 2010
- MACHADO, L. C. P. **Pastoreio Racional Voisin: Tecnologia agroecológica para o terceiro milênio**. 2. ed. São Paulo: Expressão

Popular, 2010.

MACHADO, L. C. P.; MACHADO FILHO, L. C. P. **A dialética da agroecologia. Contribuição para um mundo com alimentos sem veneno.** 1. ed. São Paulo: Expressão Popular, 2014.

MARQUARD, E. et al. Plant species richness and functional composition drive overyielding in a six-year grassland experiment Published by : Ecological Society of America content in a trusted digital archive . We use information technology and tools to increase productivity an. **Ecology**, v. 90, n. 12, p. 3290–3302, 2009.

MARTÍN ALONSO, G. M. et al. Efecto de la aplicación de estiércol vacuno e inoculación micorrizica sobre el crecimiento y producción de semillas de *Canavalia ensiformis* em suelos ferralíticos rojos lixiviados. **Cultivos Tropicales**, v. 35, n. 1, p. 86–91, 2014.

MARTIN ALONSO, G. M. et al. Quantification of the biological fixation of nitrogen in *Canavalia ensiformis* by the methods of natural abundance of N15 and difference of total N. *Cultivos Tropicales*, v. 38, n. 1, p. 122–130, 2017.

MARTIN, G. et al. Crop-livestock integration beyond the farm level: a review. **Agronomy for Sustainable Development**, v. 36, n. 3, 2016.

MARTÍN, G. M. et al. Crop rotation of *Canavalia ensiformis* green manure of corn and arbuscular mycorrhize in an eutric rodic nitisol of Cuba. **Agronomía Trop.**, v. 57, n. 4, p. 313–321, 2007.

MARTINS, F. G. L. et al. Análise energética da produção de milho para silagem cultivado em diferentes espaçamentos. **Energia na agricultura**, v. 30, p. 418–428, 2015.

MATCHES, A. G. Plant Response to Grazing: A Review. **Jpa**, v. 5, n. 1, p. 1, 1992.

MCDONALD, P. **The biochemistry of silage.** 2. ed. Chalcombe: John Wiley & Sons, Ltd., 1991.

MERCANTE, E.; URIBE-OPAZO, M. A.; SOUZA, E. G. Resistência Mecânica Do Solo E Sem Manejo Químico. **Engenharia Agrícola**, v. 27, n. 3, p. 1149–1159, 2003.

MILCU, A. et al. Earthworms and Legumes Control Litter Decomposition in a Plant Diversity Gradient. **Ecology**, v. 89, n. 7, p. 1872–1882, 2008.

MILERA, M. DE LA C. et al. Reflexiones acerca de la aplicación del pastoreio racional Voisin. In: **André Voisin. Experiência y aplicación de**

- su obra en Cuba.** Estación Experimental de Pastos e Forrajes “Indio Hatuey”, 2011. p. 588–603.
- MILES, M. **Silos, ensilage and silage. A practical treatise on the ensilage of fodder corn.** New York: Oange Judd company, 1889.
- MIRANDA, R. A. DE; DUARTE, J. DE O.; GARCIA, J. C. Cultivo do Milho: Mercado e comercialização. In: Cultivo do Milho. 8. ed. 2012.
- MITTELMANN, A. et al. Avaliação de híbridos comerciais de milho para utilização como silagem na Região Sul do Brasil. **Ciencia Rural, Santa Maria**, v. 35, n. 3, p. 684–690, 2005.
- MORAES, S. D. DE et al. Production and chemical composition of hybrid sorghum and corn for silage. **Rev. Bras. Saúde Prod. Anim.**, v. 14, n. 4, p. 624–634, 2013.
- MORALES, Á. et al. Productive and metabolic response to two levels of corn silage supplementation in grazing dairy cows in early lactation during autumn. **Chilean Journal of Agricultural Research**, v. 74, n. 2, p. 205–212, 2014.
- MURPHY, B. et al. An economic and greenhouse gas emissions evaluation of pasture-based dairy calf-to-beef production systems. **Agricultural Systems**, v. 154, n. February, p. 124–132, 2017.
- MURPHY, J.; RILEY, J. P. A modified single solution method for the determination of phosphate in natural waters. **Analytica Chimica Acta**, v. 27, n. C, p. 31–36, 1962.
- NAVARRO, S.; VELA, N.; NAVARRO, G. Review. An overview on the environmental behaviour of pesticide residues in soils. **Spanish Journal of Agricultural Research**, v. 5, n. 3, p. 357–375, 2007.
- NAZLI, R. İ. et al. Effects of different organic materials on forage yield and quality of silage Corn (*Zea mays* L.). **Turkish Journal of Agriculture and Forestry**, v. 38, p. 23–31, 2014.
- NELSON, D. W.; SOMMERS, L. E. Total carbon, organic carbon, and organic matter. In: **Methods of Soil Analysis**. 2. ed. Madison, WI: Agronomy Monograph nº 9, 1982.
- NEUMANN, M. et al. Yield and production components of Corn (*Zea mays* L.) for silage as a result of nitrogen fertilization. **Revista Brasileira de Milho e Sorgo**, v. 4, n. 3, p. 418–427, 30 dez. 2005.
- NEUMANN, M.; RESTLE, J.; BRONDANI, I. L. Feedlot performance of steers fed with silages of Sorghum (*Sorghum bicolor*, L. Moench) or Corn

(*Zea mays*, L.) hybrids. **Revista Brasileira de Milho e Sorgo**, v. 3, n. 3, p. 438–452, 2004.

NOWAK, B. et al. Nutrient recycling in organic farming is related to diversity in farm types at the local level. **Agriculture, Ecosystems and Environment**, v. 204, p. 17–26, 2015.

NRC, N. R. C.-. **Nutrients requirements of dairy cattle**. 7. ed. Washington, D.C.: 2001.

NYFELER, D. et al. Grass-legume mixtures can yield more nitrogen than legume pure stands due to mutual stimulation of nitrogen uptake from symbiotic and non-symbiotic sources. **Agriculture, Ecosystems and Environment**, v. 140, n. 1–2, p. 155–163, 2011.

O'BRIEN, D. et al. How can grass-based dairy farmers reduce the carbon footprint of milk? **Animal Production Science**, v. 56, n. 3, p. 495–500, 2016.

OLIVEIRA, L. B. DE et al. Perdas e valor nutritivo de silagens de milho, Sorgo-Sudão, Sorgo forrageiro e Girassol. **Revista Brasileira de Zootecnia**, v. 39, n. 1, p. 61–67, 2010.

OLIVEIRA, M. A. et al. Production and nutritional value of bermudagrass cv. coastercross grown under different nitrogen doses and regrowth ages. **Arquivos Brasileiros de Medicina Veterinária e Zootecnia**, v. 63, n. 3, p. 694–703, 2011.

PARIZ, C. M. et al. Silage production of corn intercropped with tropical forages in an integrated crop-livestock system with lambs. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v. 52, n. 1, p. 54–62, 2017.

PAULA, F. L. M. DE et al. Silage production and the chemical composition of corn and Grass-tanzania intercropping. **Semina: Ciências Agrárias, Londrina**, v. 37, n. 3, p. 1607–1616, 2016.

PAZIANI, S. D. F. et al. Características agronômicas e bromatológicas de híbridos de milho para produção de silagem. **Revista Brasileira de Zootecnia**, v. 38, n. 3, p. 411–417, 2009.

PENNO, J. W. et al. Responses to supplementation by dairy cows given low pasture allowances in different seasons 1. Pasture intake and substitution. **Animal Science**, v. 82, n. 5, p. 661–670, 2007.

PÉREZ-PRIETO, L. A.; PEYRAUD, J. L.; DELAGARDE, R. Substitution rate and milk yield response to corn silage supplementation of late-lactation dairy cows grazing low-mass pastures at 2 daily allowances in autumn. **Journal of Dairy Science**, v. 94, n. 7, p. 3592–3604, 2011.

PERIN, A. et al. Produção de fitomassa, acúmulo de nutrientes e fixação biológica de nitrogênio por adubos verdes em cultivo isolado e consorciado. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v. 39, n. 1, p. 35–40, 2004.

PINHEIRO, J. et al. **nlme: linear and nonlinear mixed effects models**, 2016. Disponível em: <<http://cran.r-project.org/package=nlme>>

PINHO, R. G. VON et al. Influence of cutting height of plants in agronomic characteristics and nutritive value of silages of corn and different types of sorghum. **Revista Brasileira de Milho e Sorgo**, v. 5, n. 2, p. 266–279, 2006.

PISHGAR KOMLEH, S. H. et al. Energy and economic analysis of different seed corn harvesting systems in Iran. **Energy**, v. 43, n. 1, p. 469–476, 2012.

PISHGAR KOMLEH, S. H. et al. Energy use and economic analysis of corn silage production under three cultivated area levels in Tehran province of Iran. **Energy**, v. 36, n. 5, p. 3335–3341, 2011.

PRIBYL, D. W. A critical review of the conventional SOC to SOM conversion factor. **Geoderma**, v. 156, n. 3–4, p. 75–83, 2010.

PULLEMAN, M. et al. Soil biodiversity, biological indicators and soil ecosystem services - an overview of European approaches. **Current Opinion in Environmental Sustainability**, v. 4, p. 529–538, 2012.

R CORE TEAM. **R: A language and environment for statistical computing**. Vienna, Austria, 2016. Disponível em: <<https://www.r-project.org/>>

RAJCAN, I.; SWANTON, C. J. Understanding Corn-weed competition: resource competition, light quality and the whole plant. **Field Crops Research**, v. 71, p. 139–150, 2001.

RASEDUZZAMAN, M.; JENSEN, E. S. Does intercropping enhance yield stability in arable crop production? A meta-analysis. **European Journal of Agronomy**, v. 91, p. 25–33, nov. 2017.

REBITZER, G. et al. Life cycle assessment Part 1: Framework, goal and scope definition, inventory analysis, and applications. **Environment International**, v. 30, n. 5, p. 701–720, 2004.

REICH, P. B. et al. Species and functional group diversity independently influence biomass accumulation and its response to CO₂ and N. **Proceedings of the National Academy of Sciences of the United States of America**, v. 101, n. 27, p. 10101–6, 2004.

- RIGOTTI, S. . **Carbono da biomassa microbiana como indicador de qualidade de solos sob Pastoreio Racional Voisin**. Dissertação (Mestrado em Agroecossistemas): Universidade Federal de Santa Catarina., 2000.
- RIGOTTO, R. M.; ROCHA, M. M. Pesticide use in Brazil and problems for public health. **Cadernos de Saúde Pública**, v. 30, n. 7, p. 3, 2014.
- ROCKSTRÖM, J. et al. A safe operating space for humanity. **Nature**, v. 461, n. September, p. 472–475, 2009.
- ROSCHER, C. et al. Overyielding in experimental grassland communities - Irrespective of species pool or spatial scale. **Ecology Letters**, v. 8, p. 419–429, 2005.
- ROTZ, C. A. et al. Grazing can reduce the environmental impact of dairy production systems. **Forage and Grazinglands**, v. Online, 2009.
- ROY, A. K. et al. Nitrogen application rate, timing and history effects on nitrous oxide emissions from corn (*Zea mays* L.). **Canadian Journal of Soil Science**, v. 94, n. 4, p. 563–573, 2014.
- RUSSELLE, M. P.; ENTZ, M. H.; FRANZLUEBBERS, A. J. Reconsidering integrated crop-livestock systems in North America. **Agronomy Journal**, v. 99, p. 325–334, 2007.
- RYAN, M. R. **Energy usage, greenhouse gases, and multi-tactical weed management in organic rotational no-till cropping systems**. Pennsylvânia: The Pennsylvania State University, 2010.
- SANDERSON, M. A. et al. Forage Mixture Productivity and Botanical Composition in Pastures Grazed by Dairy Cattle. **Agronomy Journal**, v. 97, n. 5, p. 1465–1471, 2005.
- SANTA CATARINA. Custo de produção. Disponível em: <http://www.epagri.sc.gov.br/?page_id=2696>. Acesso em: 29 jan. 2018.
- SANTA CATARINA. **Milho, variedades de polinização aberta**. Epagri, Disponível em: <<http://www.epagri.sc.gov.br/wp-content/uploads/2016/06/MILHO-Variedades-de-polinizacao-aberta.pdf>>. Acesso em: 17 maio. 2017.
- SANTA CATARINA. **Síntese anual da agricultura de Santa Catarina 2015- 2016**. Florianópolis, SC: EPAGRI, 2017.
- SANTOS, C. G. et al. Produção de silagem de Milho híbrido com diferentes idades de corte. **Rev. Cient. Prod. Anim.**, v. 16, n. 1, p. 32–45, 2014a.
- SANTOS, L. B. DOS et al. Substituição da adubação nitrogenada mineral pela cama de frango na sucessão aveia/milho. **Bioscience Journal**, v. 30, n.

Suppl. 1, p. 272–281, 2014b.

SCHERBER, C. et al. Bottom-up effects of plant diversity on multitrophic interactions in a biodiversity experiment. **Nature**, v. 468, n. 7323, p. 553–556, 2010.

SCHERER, E. E.; AITA, C.; BALDISSERA, I. T. **Avaliação da qualidade do esterco líquido de suíno da região Oeste Catarinense para fins de utilização como fertilizante**. Florianópolis: Epagri, 1996.

SCHILS, R. L. M. et al. A farm level approach to define successful mitigation strategies for GHG emissions from ruminant livestock systems. **Nutrient Cycling in Agroecosystems**, v. 71, n. 2, p. 163–175, 2005.

SCHNYDER, H.; LOCHER, F.; AUERSWALD, K. Nutrient redistribution by grazing cattle drives patterns of topsoil N and P stocks in a low-input pasture ecosystem. **Nutrient Cycling in Agroecosystems**, v. 88, n. 2, p. 183–195, 2010.

SCHROTH, G.; SINCLAIR, F. L. (EDS.). *Trees, crops and soil fertility; Concepts and research methods*. CABI Publishing, 2003.

SEHESTED, J.; KRISTENSEN, T.; SØEGAARD, K. Effect of concentrate supplementation level on production, health and efficiency in an organic dairy herd. **Livestock Production Science**, v. 80, p. 153–165, 2003.

SEIDEL, E. P.; DOS REIS, W.; MOTTIN, M. C. Effects of surface application of gypsum in corn intercropped with jack bean (*Canavalia eusiformis*) with different soil penetration resistance. **Australian Journal of Crop Science**, v. 10, n. 7, p. 985–989, 2016.

SEÓ, H. L. S.; MACHADO FILHO, L. C. P.; BRUGNARA, D. Rationally Managed Pastures Stock More Carbon than No-Tillage Fields. **Frontiers in Environmental Science**, v. 5, 21 dez. 2017.

SEVERINO, F. J.; CARVALHO, S. J. P.; CHRISTOFFOLETI, P. J. Interferências mútuas entre a cultura do milho, espécies forrageiras e plantas daninhas em um sistema de consórcio. II - Implicações sobre as espécies forrageiras. **Planta Daninha, Viçosa-MG**, v. 24, n. 4, p. 45–52, 2006.

SHAPIRO, S. S.; WILK, M. B. An Analysis of Variance Test for Normality (Complete Samples). **Biometrika**, v. 52, n. 3/4, p. 591–611, 1965.

SILVA, F. C. DA (ED.). *Manual de análises químicas de solos, plantas e fertilizantes*. 2. ed. rev ed. Brasília, DF: Embrapa Informação Tecnológica; Rio de Janeiro: Embrapa Solos, 2009.

- SILVA, P. R. A. et al. Análise econômica de milho convencional e transgênico em dois sistemas de preparos de solo. **Engenharia Agrícola**, v. 4430, p. 1032–1041, 2015.
- SOANE, B. D.; VAN OUWERKERK, C. (EDS.). **Soil Compaction in Crop Production**. Elsevier, 2013. v. 11
- SOCA, M. et al. Influencia de la macrofauna edáfica en la desaparicion de las excretas en un sistema silvopastoril. **Pastos y Forrajes**, v. 29, n. 2, p. 169, 2006.
- STEINBEISS, S. et al. Plant diversity positively affects short-term soil carbon storage in experimental grasslands. **Global Change Biology**, v. 14, n. 12, p. 2937–2949, 2008.
- STRECKER, T. et al. Effects of plant diversity, functional group composition, and fertilization on soil microbial properties in experimental grassland. **PLoS ONE**, v. 10, n. 5, p. 1–16, 2015.
- TASSINARI, G. et al. **Microbacia: Rio Macaco Branco VI (Tunápolis, SC)**. Florianópolis, SC: 1996. v. 1
- TAWHEEL, H. Z. et al. Intake regulation and grazing behavior of dairy cows under continuous stocking. **Journal of Dairy Science**, v. 87, n. 10, p. 3417–27, 2004.
- TEDESCO, M. J. et al. Análises de solo, plantas e outros materiais. 2. ed. Porto Alegre: UFRGS, 1995.
- TELLO, J. C. et al. Agroecologia. **Agroecología**, v. 8, n. 2, 2013.
- TILMAN, D. Effects of diversity and composition on grassland stability and productivity. In: PRESS, M. C.; HUNTLY, N.; LEVIN, S. A. (Eds.). **Ecology: Achievement and Challenge**. NY: London, UK: Blackwell Science, 2001. p. 183–207.
- TILMAN, D. et al. Diversity and productivity in a long-term grassland experiment. **Science**, v. 294, n. 5543, p. 843–5, 2001.
- TILMAN, D. The greening of the green revolution. **Nature**, v. 396, p. 211–212, 1998.
- TORRES, J. L. R. et al. Decomposição e liberação de nitrogênio de resíduos culturais de plantas de cobertura em um solo de cerrado. **Revista Brasileira de Ciencia do Solo**, v. 29, n. 4, p. 609–618, 2005.
- TRACY, B. F.; ZHANG, Y. Soil compaction, corn yield response, and soil nutrient pool dynamics within an integrated crop-livestock system in Illinois. **Crop Science**, v. 48, p. 1211–1218, 2008.

UBERTI, A. A. A. **Santa Catarina: Proposta de Divisão Territorial em Regiões Edafoambientais Homogêneas**. Tese (Doutorado em Engenharia Civil), Curso de Pós-Graduação em Engenharia Civil: Universidade Federal de Santa Catarina, 2005.

USDA. **Crop Production 2016 Summary**. 2017. Disponível em: <<https://www.usda.gov/nass/PUBS/TODAYRPT/cropan17.pdf>>.

VALDÉS, Y. B.; GALÁN, Á. L.; LIZAZO, I. C. Determination of critical period of weed competition with the cultivation of corn (*Zea mays* L.). **Cultivos Tropicales**, v. 35, n. 3, p. 62–69, 2014.

VAN MIDDELAAR, C. E. et al. Evaluation of a feeding strategy to reduce greenhouse gas emissions from dairy farming: The level of analysis matters. **Agricultural Systems**, v. 121, p. 9–22, 2013.

VAN RUIJVEN, J.; BERENDSE, F. Diversity-productivity relationships: initial effects, long-term patterns, and underlying mechanisms. **Proceedings of the National Academy of Sciences of the United States of America**, v. 102, n. 3, p. 695–700, 18 jan. 2005.

VAN SOEST, P. J.; ROBERTSON, J. B.; LIWIS, B. A. Assoc. Official Analysis Chemists. *Dairy Science*, v. 74, p. 3583, 1991.

VASILEIADIS, V. P. et al. On-farm evaluation of integrated weed management tools for corn production in three different agro-environments in Europe: Agronomic efficacy, herbicide use reduction, and economic sustainability. **European Journal of Agronomy**, v. 63, p. 71–78, 2015.

VEIGA SILVA, J. C. B.; COMIN, J. J. Desempenho agrônomo de milho, feijão, soja e abóbora em sistema orgânico de monocultivo e consórcio. **Revista Brasileira de Agroecologia**, v. 8, n. 2, p. 191–199, 2013.

VELLINGA, T. V.; HOVING, I. E. Corn silage for dairy cows: Mitigation of methane emissions can be offset by land use change. **Nutrient Cycling in Agroecosystems**, v. 89, n. 3, p. 413–426, 2011.

VENABLES, W. N.; RIPLEY, B. D. **Modern Applied Statistics with S**. Fourth Edi ed. New York: Springer, 2002.

VERA-NUNEZ, J. A. et al. Influence of P Fertilization on Biological Nitrogen Fixation in Herbaceous Legumes Grown in Acid Savannah Soils from the Tabasco State, Mexico. **Journal of Sustainable Agriculture**, v. 31, n. 3, p. 24–42, 2008.

WANG, H. et al. Carbon Footprint Analysis for Mechanization of Corn Production Based on Life Cycle Assessment: A Case Study in Jilin Province, China. **Sustainability**, v. 7, n. 12, p. 15772–15784, 2015.

WENDLING, A. V.; RIBAS, C. C. E. Voisin's rational grazing – conformity indices (CI-VRG). **Revista Brasileira de Agroecologia**, v. 8, n. 3, p. 26–38, 2013.

WEZEL, A. et al. Agroecological practices for sustainable agriculture. A review. **Agronomy for Sustainable Development**, v. 34, n. 1, p. 1–20, 2014.

WEZEL, A. et al. Agroecology as a science , a movement and a practice . A review. **Agronomy for Sustainable Development**, v. 29, n. 4, p. 503–515, 2009.

WHITE, S. L. et al. Milk production and economic measures in confinement or pasture systems using seasonally calved Holstein and Jersey cows. **Journal of dairy science**, v. 85, n. 1, p. 95–104, 2002.

WICKHAM, H. **ggplot2**. Cham: Springer International Publishing, 2016.

WRIGHT, A.; SCHNITZER, S. A.; REICH, P. B. Living close to your neighbors: The importance of both competition and facilitation in plant communities. **Ecology**, v. 95, n. 8, p. 2213–2223, 2014.

XAVIER, F. A. DA S. et al. Effect of cover plants on soil C and N dynamics in different soil management systems in dwarf cashew culture. **Agriculture, Ecosystems and Environment**, v. 165, p. 173–183, 2013.

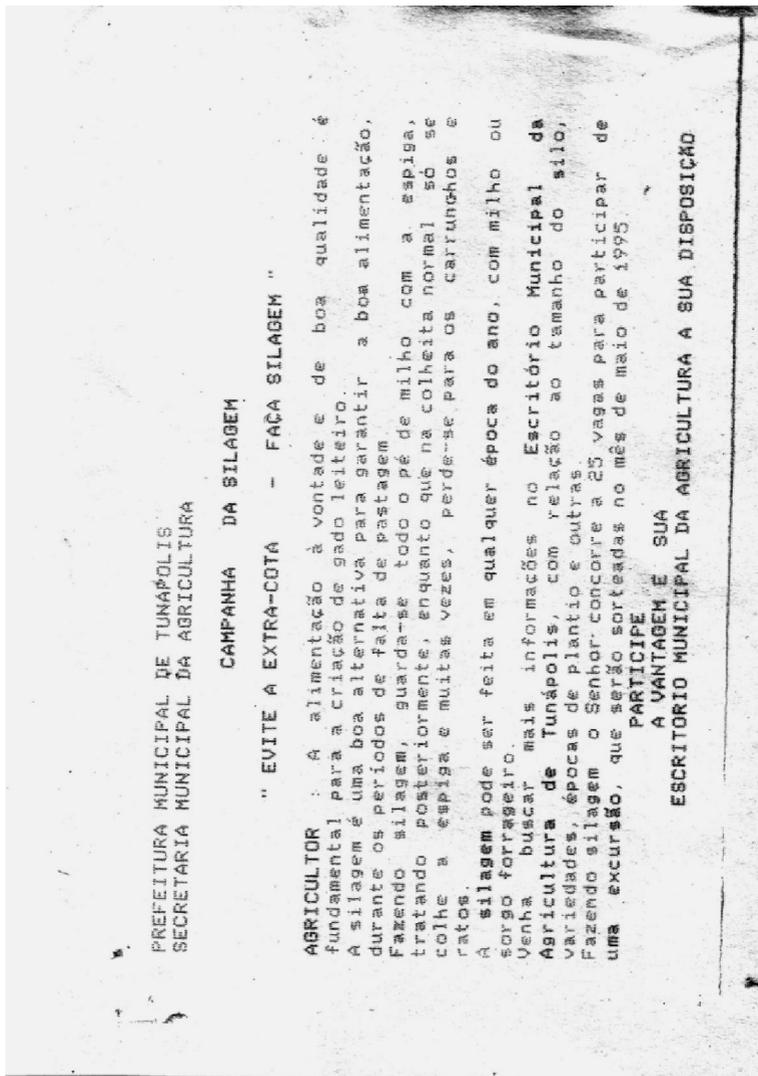
YAN, M.-J.; HUMPHREYS, J.; HOLDEN, N. M. The carbon footprint of pasture-based milk production: can white clover make a difference? **Journal of Dairy Science**, v. 96, n. 2, p. 857–65, 2013.

YEOMANS, J. C.; BREMNER, J. M. A rapid and precise method for routine determination of organic carbon in soil. **Communications in Soil Science and Plant Analysis**, v. 19, n. 13, p. 1467–1476, out. 1988.

ZAVATTARO, L. et al. Options to reduce N loss from corn in intensive cropping systems in Northern Italy. **Agriculture, Ecosystems and Environment**, v. 147, p. 24–35, 2012.

ANEXOS

Anexo A – Cópia do folder da 1ª campanha de silagem realizada em Tunápolis, SC em 1994.



Fonte: Arquivos da Prefeitura Municipal de Tunápolis

ANEXO B

Figura 8. Vista aérea do estabelecimento com lavoura convencional e com milho cultivado sobre pastagem perene, em Tunápolis, 2016.



Imagem: Diego Carvalho

APÊNDICES

Figura 9. Visão geral de um estabelecimento representativo. No centro a esquerda a área de silagem, à direita área de pastagem perene, ao centro alto a reserva legal.



Imagem: Adenor Vicente Wendling

Figura 10. Vista parcial do primeiro experimento. Pastagem e milho em pleno desenvolvimento, indicando presença de pastagem e plantas invasoras.



Imagem: Adenor Vicente Wendling

Figura 11. Vista parcial do segundo experimento. Vacas em pastoreio na pastagem em ponto ótimo de repouso.



Imagem: Adenor Vicente Wendling