Universidade de São Paulo
Escola Superior de Agricultura “Luiz de Queiroz”

**Irrigação de pastagens: Pesquisa, desenvolvimento tecnológico e
transferência de tecnologia.**

Fernando Campos Mendonça

Tese apresentada à Escola Superior de
Agricultura “Luiz de Queiroz”,
Universidade de São Paulo, como parte
dos requisitos para o Concurso de Livre
Docência junto ao Departamento de
Engenharia de Biosistemas, área de
Hidráulica e Irrigação.

Piracicaba - SP

2021

Fernando Campos Mendonça
Engenheiro Agrônomo

Tese apresentada à Escola Superior de Agricultura “Luiz de Queiroz”, Universidade de São Paulo, como parte dos requisitos para o Concurso de Livre Docência junto ao Departamento de Engenharia de Biosistemas, área de Hidráulica e Irrigação.

Piracicaba - SP

2021

**Dados Internacionais de Catalogação na Publicação
DIVISÃO DE BIBLIOTECA – DIBD/ESALQ/USP**

Mendonça, Fernando Campos

Irrigação de pastagens: Pesquisa, desenvolvimento tecnológico e transferência de tecnologia / Fernando Campos Mendonça. - - Piracicaba, 2021.

112 p.

Tese (Livre Docência) - - USP / Escola Superior de Agricultura "Luiz de Queiroz".

1. Sistemas de produção animal 2. Irrigação de pastagens 3. Projetos e manejo de irrigação 4. Transferência de tecnologia 5. Extensão rural e desenvolvimento I. Título

Dedico este trabalho a Janea Falcão dos Santos Mendonça e a Fernando Falcão Mendonça, por tudo o que são em minha vida.

AGRADECIMENTOS

A Deus, fonte infinita de bênçãos, amor, força, sabedoria, determinação, necessários à minha caminhada.

Aos meus pais, Antonio de Oliveira Mendonça (*in memoriam*) e Antonia Campos Mendonça (*in memoriam*), por tudo o que fizeram por mim.

À minha esposa, Janea, e ao nosso filho, Fernando. Sua presença em minha vida justifica meus esforços e minha alegria de viver.

À Janea, pela dedicação na elaboração da documentação e do memorial para o Concurso de Livre Docência.

À ESALQ, pela formação recebida como aluno de Graduação e Pós-Graduação, e pela oportunidade de ser professor na Escola.

À República Jacarepaguá, meu primeiro lar em Piracicaba, pela amizade e companheirismo que permanecem sempre em meu coração.

À equipe de professores e demais funcionários do Departamento de Engenharia de Biosistemas, pelo respeito, pela amizade e pela colaboração em meu trabalho como professor na ESALQ. Agradecimento especial ao Prof. Tarlei Arriel Botrel, orientador de Mestrado e Doutorado e, sobretudo, um grande amigo.

Aos orientados e ex-orientados no Programa de Pós-Graduação em Engenharia de Sistemas Agrícolas, pelos trabalhos de pesquisa que são a base desta Tese.

Aos alunos que participaram e participam do Grupo de Práticas de Irrigação e Drenagem – GPID, que desde 2010 me têm feito companhia em minha jornada na ESALQ.

À Embrapa Pecuária Sudeste, pelo período em que lá trabalhei (2005-2010), que me motivaram a escrever este trabalho. Agradecimento especial à equipe do Projeto Balde Cheio, com os Drs. Artur Chinelato de Camargo, André Luiz Monteiro Novo e Marco Aurélio Carneiro Meira Bergamaschi.

Aos profissionais técnicos que encontrei em minha carreira, em cursos de treinamento e demais ocasiões, oportunidades preciosas de convívio e aprendizado. Suas experiências foram essenciais à elaboração deste trabalho.

Aquele que não sabe de algo e sabe disso é humilde. Ajude-o.

Aquele que não sabe e pensa que sabe é ignorante. Evite-o.

Aquele que sabe e pensa que não sabe está dormindo. Desperte-o.

Aquele que sabe e tem consciência disso é sábio. Siga-o.

(Provérbio chinês)

SUMÁRIO

AGRADECIMENTOS.....	5
RESUMO GERAL.....	9
GENERAL ABSTRACT.....	10
LISTA DE ILUSTRAÇÕES.....	11
LISTA DE TABELAS.....	13
1. INTRODUÇÃO GERAL.....	15
CAPÍTULO 1: IRRIGAÇÃO DE PASTAGENS: PESQUISA E DESENVOLVIMENTO TECNOLÓGICO.....	18
IRRIGAÇÃO DE PASTAGENS: PESQUISA E DESENVOLVIMENTO TECNOLÓGICO.....	19
RESUMO.....	19
PASTURE IRRIGATION: RESEARCH AND TECHNOLOGY DEVELOPMENT.....	20
ABSTRACT.....	20
1. INTRODUÇÃO.....	21
2. REVISÃO DE LITERATURA.....	22
2.1. Efeitos da irrigação em sistemas de produção animal baseados em pastagens.....	22
2.1.1. Manejo da pastagem e do pastejo com forrageiras tropicais.....	24
2.1.2. Sinergia entre irrigação e adubação nitrogenada.....	26
2.2. Principais forrageiras em pastagens irrigadas no Brasil.....	36
2.2.2. Forrageiras tropicais.....	37
2.2.3. Forrageiras de inverno.....	38
2.3. Sobressemeadura: cultivo consorciado em pastagens tropicais.....	38
2.4. Consumo de água de forrageiras tropicais e de inverno.....	41
2.5. Fertirrigação de plantas forrageiras.....	44
3. MATERIAL E MÉTODOS.....	45
4. RESULTADOS E DISCUSSÃO.....	45
4.1. Pesquisas sobre irrigação de pastagens.....	45
4.1.1. Consumo de água e coeficiente de cultura (Kc) de forrageiras tropicais.....	45
4.1.2. Irrigação e adubação.....	54
4.1.3. Irrigação localizada em pastagens tropicais.....	59
4.1.4. Uso do gesso agrícola como estratégia de aprofundamento do sistema radicular.....	60

4.1.5. Modelagem de crescimento e produção de plantas forrageiras	62
5. CONSIDERAÇÕES FINAIS	64
6. CONCLUSÕES.....	66
7. REFERÊNCIAS	67
CAPÍTULO 2: EXTENSÃO RURAL E TRANSFERÊNCIA DE TECNOLOGIA NA IRRIGAÇÃO DE PASTAGENS	77
EXTENSÃO RURAL E TRANSFERÊNCIA DE TECNOLOGIA NA IRRIGAÇÃO DE PASTAGENS.....	78
RESUMO	78
RURAL EXTENSION AND TECHNOLOGY TRANSFER IN PASTURE IRRIGATION.....	79
ABSTRACT.....	79
1. INTRODUÇÃO.....	80
2. REVISÃO DE LITERATURA	83
2.1. Transferência de tecnologia em sistemas de produção agropecuária	83
2.2. Métodos de transferência de tecnologia	85
2.3. Extensão rural e irrigação de pastagens.....	86
2.3.1. Setor leiteiro brasileiro	86
2.3.2. Projeto Balde Cheio.....	89
3. MATERIAL E MÉTODOS.....	91
4. RESULTADOS E DISCUSSÃO	91
4.1. Projetos e manejo de pastagens irrigadas	91
4.1.2. Transferência de tecnologia para irrigação de pastagens	92
4.2. Novas funcionalidades de sistemas de irrigação	94
4.3. Extensão rural e geração de renda em propriedades leiteiras	96
4.3.1. Índices zootécnicos.....	103
4.3.2. Índices econômicos	106
4.3.3. Pagamento por Serviços Ambientais – Investimento e Retorno	108
5. CONCLUSÕES.....	110
6. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	111

IRRIGAÇÃO DE PASTAGENS: PESQUISA, DESENVOLVIMENTO TECNOLÓGICO E TRANSFERÊNCIA DE TECNOLOGIA.

RESUMO GERAL

Este trabalho teve o objetivo de apresentar e discutir diversos aspectos relacionados à pesquisa e à transferência de tecnologia sobre irrigação de pastagens e divulgados em diversos meios (artigos, capítulos, livros etc.), inclusive os realizados pelo autor e seus colaboradores, desde o ano de 2005 até o presente momento. O trabalho foi desenvolvido em dois capítulos: (i) Irrigação de pastagens: pesquisa e desenvolvimento tecnológico; e (ii) Extensão rural e transferência de tecnologia na irrigação de pastagens. No primeiro capítulo foi feita uma revisão de trabalhos de pesquisa e de desenvolvimento tecnológico sobre o tema, apresentando os seguintes enfoques: inserção e efeito sinérgico da irrigação em sistemas de produção animal baseados em pastagens; características das principais forrageiras irrigadas no Brasil; consumo de água de forrageiras tropicais; fertirrigação de plantas forrageiras; projetos e manejo de pastagens irrigadas. No segundo capítulo há uma discussão sobre o papel da extensão rural pública e privada na transferência de tecnologia aplicada à irrigação de pastagens, bem como os impactos socioeconômicos e ambientais de sua utilização. Em ambos os capítulos há relatos sobre o trabalho de equipes das quais o autor participou e participa, relativo aos tópicos abordados. Conclui-se que a irrigação de pastagens pode trazer grandes benefícios aos sistemas de produção animal baseados em pastagens, desde que sejam respeitadas premissas que abrangem aspectos tecnológicos, sociais e ambientais. A irrigação pode contribuir fortemente para o aumento da produtividade e da rentabilidade da produção animal em pastagens, e para isso é fundamental a capacitação de técnicos para o trabalho de orientação sobre o uso da irrigação e seu custo é muito inferior aos benefícios gerados.

Palavras-chave: irrigação de pastagens, sistemas de produção animal, projetos e manejo de irrigação, transferência de tecnologia, extensão rural, desenvolvimento.

PASTURE IRRIGATION: RESEARCH, DEVELOPMENT, AND TECHNOLOGY TRANSFER.

GENERAL ABSTRACT

This work aimed to present and discuss several aspects related to research and technology download on pasture irrigation and disseminated in different media (articles, chapters, books, etc.), including those carried out by the author and his collaborators, since the year from 2005 to the present moment. The work was developed in two chapters: (i) Pasture irrigation: research and technological development; and (ii) Rural extension and technology transfer in pasture irrigation. In the first chapter, a review of research and technological development work on the topic was carried out, presenting the following approaches: insertion and synergistic effect of irrigation in animal production systems used in pastures; characteristics of the main irrigated forages in Brazil; water consumption of thermal fodder; fertigation of forage plants; projects and management of irrigated pastures. In the second chapter, there is a discussion about the role of public and private-public extension in the transfer of technology applied to pasture irrigation, as well as the socioeconomic and environmental impacts of its use. In both the titles, there are reports on the work of teams of the main participants and participants, related to the discussions. One can conclude that pasture irrigation can bring great benefits to the animal production systems used in pastures, as long as it is respected the premises that cover technological, social and environmental aspects. Irrigation can contribute strongly to the increase in productivity and profitability of animal production in pastures, and for this, it is essential to train technicians to provide guidance on the use of irrigation and its cost is much lower than the benefits generated.

Keywords: pasture irrigation, animal production systems, irrigation projects and management, technology transfer, rural extension, development.

LISTA DE ILUSTRAÇÕES

Figura 1 – Produção de matéria seca (kg ha^{-1} de MS) por ciclo de crescimento e pastejo, de acordo com a dose de adubação nitrogenada ($\text{kg ha}^{-1} \text{ ano}^{-1}$).....	27
Figura 2 – Produção de forragem (kg ha^{-1} de MS) de <i>Urochloa brizantha</i> (Syn. <i>Brachiaria brizantha</i>) cv. Marandu em função da dose de nitrogênio, (a) sem irrigação e (b) com irrigação.	28
Figura 3 – Formatos de piquetes em pivôs centrais.	43
Figura 4 – Esquema da área experimental de forragicultura irrigada, Piracicaba, SP.	46
Figura 5 – Foto aérea da área experimental de forragicultura irrigada, Piracicaba, SP.	47
Figura 6 – Esquema em corte lateral do lisímetro de pesagem instalado. Piracicaba/SP.	47
Figura 7 – Esquema de instalação dos lisímetros de pesagem na área experimental. Piracicaba/SP.	51
Figura 8 – Crescimento do capim Marandu após o corte de uniformidade durante o primeiro ciclo.	51
Figura 9 – Detalhe e esquema da sonda FDR Diviner®. Piracicaba/SP.	52
Figura 10 – Evolução do coeficiente de cultura (K_c) e da evapotranspiração de cultura (E_{Tc}). a) Mombaça. b) Marandu. c) <i>Cynodon</i> . d) Comparativo de K_c no período estudado.....	53
Figura 11 – Croqui da distribuição das doses de boro e nitrogênio nas parcelas experimentais, Piracicaba/SP, 2017.	56
Figura 12 – Equações de regressão para estimativa de altura do dossel forrageiro (ADF, cm) e Índice de Área Foliar (IAF, $\text{m}^2 \text{ m}^{-2}$) em função da soma térmica (GDD): a) Outono/inverno, b) Primavera/Verão; e em função do Número de Dias do Ciclo (NDC): c) outono/inverno e d) primavera/verão. Piracicaba/SP, Brasil, 2017/2018.	59
Figura 13 – Evolução da produção de leite no Brasil, entre 1990 e 2018.	86
Figura 14 -Valor bruto da produção no Brasil em 2018 (em R\$ bilhões).	87
Figura 15 – Sistemas de irrigação pivô central (a) e K-line (b) utilizados na Nova Zelândia.	88
Figura 16 – Capa e ficha catalográfica do livro <i>Projetos e Manejo de Irrigação de Pastagens</i>	94
Figura 17 – Benefícios do uso de pivô central em pastagens: a) resfriamento com aspersão de água e sombrite para vacas em lactação – Faz. Santo Antônio da Canto Porto, Mogi Mirim, SP; b) vacas pastando em horário de sol pleno – CRP Agropecuária, Pompéu, MG.....	95
Figura 18 – Rebanho leiteiro em bebedouros basculantes montados em uma torre de pivô central.	96

Figura 19 - Mapa de localização, topografia e rede de drenagem da sub-bacia do Ribeirão das Posses em Extrema, MG	99
Figura 20 - Mapa das classes de solos (a) e relevo (b) da sub-bacia Ribeirão das Posses, Extrema, MG.....	99
Figura 21 - Mapa de uso do solo (a) e divisão das propriedades rurais na sub-bacia do Ribeirão das Posses, Extrema, MG	100

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 - Altura pré e pós-pastejo para manejo de cultivares de <i>Megathyrsus maximus</i> (Syn. <i>Panicum maximum</i>) e <i>Urochloa brizantha</i> (Syn. <i>Brachiaria brizantha</i>) em pastejo rotacionado.....	26
Tabela 2 – Produção de matéria seca (Mg ha^{-1}) de plantas forrageiras sob irrigação em diferentes ciclos de crescimento e corte.....	30
Tabela 3 – Influência da temperatura e do déficit hídrico no crescimento de forrageiras tropicais em áreas tropicais (entre as latitudes 30°N e 30°S)	31
Tabela 4 – Distribuição das propriedades produtoras de leite, no Brasil e por região.	32
Tabela 5 – Evolução da produção, do número de vacas ordenhadas, da área ocupada com a produção, e da produtividade de leite no Brasil, entre 2008 e 2017.	33
Tabela 6 – Produção anual e área necessária para o produtor de leite obter renda equivalente à média do assalariado brasileiro ¹ , em três (03) níveis de lucro ($\text{R\$ L}^{-1}$) e cinco (05) níveis de produtividade ($\text{L ha}^{-1} \text{ano}^{-1}$).....	33
Tabela 7 – Extração de nutrientes por diferentes forrageiras tropicais	44
Tabela 8 – Diferenças de deficiência hídrica (DH, mm dia^{-1}) estimada em balanços hídrico de cultura devido à mudança da probabilidade de ocorrência (p, %)	49
Tabela 9 – Dados médios de produtividade total de forragem (PTF), percentagem de folhas (PF), percentagem de colmos (PC), percentagem de material morto e produtividade da água (PA) de capim Mombaça, por estação e por tratamento de adubação. Piracicaba/SP, 2017/18.	56
Tabela 10 – Produção total de forragem (PTF), percentuais de produção total, de folhas e colmos, e material morto, a cada estação.....	57
Tabela 11 – Evolução da produção, do número de vacas ordenhadas, da área ocupada com a produção, e da produtividade de leite no Brasil, entre 2008 e 2017.	87
Tabela 12 - Valores de referência para o pagamento por serviços ambientais aos proprietários rurais no Produtor de Água no PCJ, em $\text{R\$/ha/ano}$, considerando prazo de contrato de três anos.....	97
Tabela 13 – Médias de percentagem de vacas em lactação, por classe de área	103
Tabela 14 – Médias de lotação de vacas em lactação, por classe de área	104
Tabela 15 – Médias de produção de leite por vacas em lactação, por classe de área	104
Tabela 16 - Porcentagem de vacas no rebanho, por classe de área das propriedades.....	105
Tabela 17 – Produtividade de leite, por classe de área das propriedades.....	105
Tabela 18 – Evolução do Custo Operacional Efetivo e comparação com o valor modal do CEPEA para os resultados médios das propriedades.....	106

Tabela 19 – Evolução do Custo Total (CT) e comparação com o valor modal do CEPEA para os resultados médios das propriedades	107
Tabela 20 – Evolução da Margem Líquida (ML) e comparação com o valor modal do CEPEA para os resultados médios das propriedades.....	108
Tabela 21 - Arrecadação estadual total e final de acordo com o ICMS já descontando o valor pago aos técnicos de acordo com a área das propriedades no 1º ano..	109
Tabela 22 - Arrecadação estadual total e final de acordo com o ICMS já descontando o valor pago aos técnicos de acordo com a área das propriedades no 2º ano..	109
Tabela 23 - Arrecadação estadual total e final de acordo com o ICMS já descontando o valor pago aos técnicos de acordo com a área das propriedades no 3º ano..	109
Tabela 24 - Arrecadação estadual total e final de acordo com o ICMS já descontando o valor pago aos técnicos de acordo com a área das propriedades no 4º ano..	109

1. INTRODUÇÃO GERAL

O trabalho com sistemas intensivos de produção agrícola exige esforço contínuo de planejamento e execução para que o uso dos recursos disponíveis seja feito buscando maximizar a eficiência e o retorno econômico. Como os recursos financeiros para a intensificação são escassos, é necessário priorizar investimentos em fatores que resultem em maiores incrementos nos resultados almejados.

Em sistemas intensivos de produção animal é fundamental a integração de conhecimentos de diversas áreas, tais como gestão de informação, de pessoas e do ambiente de trabalho (Administração e Economia), planejamento e manejo do sistema (Administração), caracterização ambiental (Agrometeorologia, Física e Química de Solos, Topografia e Hidrologia), sanidade, alimentação, reprodução e seleção do rebanho (Zootecnia); fertilidade do solo e nutrição mineral de plantas (Ciências do Solo e Nutrição Mineral); seleção e tratamento de sementes ou mudas (Fitotecnia); pragas e doenças (Entomologia e Fitopatologia); água e sistema de irrigação (Engenharia de Água e Solo). Por isso, é necessário alto grau de conhecimento de várias tecnologias ligadas a todas essas áreas, incluindo técnicas (maneiras de realizar ações ou conjuntos de ações), processos (conjunto de ações com propósito específico), equipamentos e ambiente.

Como há várias opções tecnológicas disponíveis e adaptáveis às condições ambientais das áreas agrícolas, é necessário utilizá-las adequadamente para maximizar impactos positivos (resultados desejados) e minimizar impactos negativos (resultados indesejados).

A gestão de pessoas e do ambiente de trabalho promove a integração das demais áreas de conhecimento citadas. Portanto, é o primeiro processo a ser abordado em qualquer atividade produtiva. Feita adequadamente, possibilita estabelecer uma sequência de trabalho que leva ao sucesso nos sistemas de produção.

Cada propriedade rural é um ambiente único e deve ser tratada como tal na análise da situação inicial, identificando e classificando, em ordem decrescente, os fatores limitantes ao processo produtivo para estabelecer prioridades e necessidades de aplicação de recursos humanos e financeiros para a melhoria de resultados.

Quando se trata de produção animal intensiva em pastagens, a escolha da espécie forrageira e do tipo de pastejo, a fertilidade do solo e a disponibilidade hídrica estão entre os fatores que exercem maior influência sobre os resultados. Deve-se planejar e implantar a pastagem visando alta produtividade e qualidade de forragem. O primeiro passo é a escolha de espécies forrageiras mais produtivas, manejadas em pastejo rotacionado. Como toda cultura de

alta produtividade e qualidade, tais forrageiras têm grande exigência nutricional e a alta fertilidade do solo é um requisito básico. Se todos esses requisitos forem atendidos, os elementos climáticos serão os principais fatores limitantes à produção de forragem.

O Brasil tem grande diversidade ambiental e os fatores limitantes à produção variam de acordo com o local. Devido aos vários tipos de clima, em certas épocas do ano agrícola pode haver um ou mais fatores climáticos limitando a produção, principalmente radiação solar, fotoperíodo, temperatura do ar e disponibilidade hídrica. Quando o último for o principal ou o único fator limitante, a irrigação promove grande aumento da produtividade das culturas.

A produção agropecuária em áreas irrigadas requer uma mentalidade distinta da produção em áreas de sequeiro. A umidade do solo tem sinergias com a disponibilidade de nutrientes e com fatores fisiológicos que afetam o direcionamento dos produtos da fotossíntese para os estágios vegetativos ou reprodutivos do ciclo das forrageiras. A falta ou o excesso de água comprometem a capacidade de suporte da pastagem e sua produtividade.

Pastagens com forrageiras tropicais irrigadas apresentam grande aumento de produtividade em relação às pastagens de sequeiro. A irrigação de pastagens apresenta seus melhores resultados nas localidades e épocas do ano em que a água é o principal fator limitante à produção de forragem. Entretanto, há uma acentuada sazonalidade nessa produção, que pode ser reduzida, mas não eliminada com o uso da irrigação.

Nas localidades e épocas em que a temperatura do ar é o principal fator limitante, deve-se considerar alternativas para o aumento da disponibilidade de alimento aos animais. Assim, é necessário utilizar tecnologias complementares para aumentar a oferta de forragem ao rebanho, tais como fenação, ensilagem, uso de cana-de-açúcar e a sobressemeadura – cultivo sazonal consorciado de espécies de inverno em pastagens tropicais.

A sobressemeadura tem sido utilizada sem irrigação em grande parte da Região Sul do Brasil, devido ao inverno chuvoso. Entretanto, como o inverno é uma estação seca em grande parte da região Centro-Sul do País, o uso de forrageiras de inverno em pastagens tropicais é mais eficaz em pastagens irrigadas, principalmente nas regiões Sudeste e Centro-Oeste, bem como em locais de maior altitude e clima mais ameno, em outras regiões brasileiras.

Se for planejada e manejada com critérios adequados, a irrigação pode colaborar para aumentar a produtividade de forragem e reduzir a necessidade de áreas de pastagem, liberando áreas para outras culturas agrícolas ou florestais, e contribuindo para um manejo conservacionista do solo.

Para alcançar tais benefícios é necessário haver profissionais capacitados ao planejamento, à implantação e ao manejo da irrigação de pastagens. Os conhecimentos básicos

sobre a agricultura irrigada devem ser frequentemente atualizados e repassados a tais profissionais, para que possam utilizar um conjunto adequado de métodos e técnicas, e promover o desenvolvimento socioeconômico sustentável das atividades de produção animal.

O objetivo deste trabalho é apresentar uma visão geral sobre a irrigação de pastagens, nos aspectos referentes à pesquisa, ao desenvolvimento tecnológico, à transferência de tecnologia e à extensão rural aplicada à irrigação de pastagens. Além da revisão de literatura, serão citados e abordados aspectos referentes à atuação do autor com relação à pesquisa e ao desenvolvimento tecnológico nessa área.

No segundo capítulo será abordada a importância do profissional de assistência técnica e extensão rural, e também a experiência do autor no treinamento de extensionistas da iniciativa pública e privada no trabalho com irrigação junto a produtores rurais, principalmente na cadeia produtiva do leite.

CAPÍTULO 1: IRRIGAÇÃO DE PASTAGENS: PESQUISA E DESENVOLVIMENTO TECNOLÓGICO

IRRIGAÇÃO DE PASTAGENS: PESQUISA E DESENVOLVIMENTO TECNOLÓGICO

RESUMO

Este capítulo contém uma revisão de literatura científica e de textos técnicos sobre irrigação de pastagens coletados em *websites*, na tentativa de levantar informações e apresentar diferentes visões sobre o tema. Essas visões sobre a irrigação de pastagens, dos setores de pesquisa e técnico, mudaram desde os primeiros artigos encontrados, indicando um avanço significativo em sua utilização. Novas formas e possibilidades de uso surgiram ao longo do tempo e atualmente é possível perceber que a irrigação em pastagens é uma técnica viável e de grande impacto. As principais mudanças referem-se à evolução tecnológica da irrigação e dos sistemas de produção animal. Técnicas como pastejo rotacionado, manejo da fertilidade do solo para alta produtividade de forragem, sobressemeadura de forrageiras de inverno em pastagens tropicais e fertirrigação favorecem o uso da irrigação como tecnologia complementar. O aumento da produtividade de forragem decorrente da irrigação permite concluir que essa tecnologia pode ser vantajosa em grande parte do território brasileiro.

Palavras-chave: Pastagens irrigadas, estado da arte, tecnologias complementares.

PASTURE IRRIGATION: RESEARCH AND TECHNOLOGY DEVELOPMENT

ABSTRACT

This chapter contains a review of the scientific literature and technical texts on pasture irrigation collected on websites, in an attempt to gather information and present different views on the topic. These views on pasture irrigation, from the research and technical sectors, have changed since the first articles found, indicating a significant advance in its use. New forms and possibilities of use have emerged over time and it is now possible to see that pasture irrigation is a viable, high impact technique. The main changes relate to the technological evolution of irrigation and animal production systems. Techniques such as rotational grazing, soil fertility management for high forage yield, overseeding of winter forage crops in tropical pastures and fertigation favor the use of irrigation as a complementary technology. The increase in forage productivity resulting from irrigation allows us to conclude that this technology can be advantageous in a large part of the Brazilian territory.

Keywords: Irrigated pastures, state of art, complementary technologies.

1. INTRODUÇÃO

A irrigação de pastagens no Brasil surgiu como uma tentativa de eliminar a estacionalidade de produção de forragem em pastagens tropicais. Após os primeiros trabalhos constatou-se que não cumpriria tal missão e isto desencorajou os investimentos nessa técnica.

Com o tempo, novos trabalhos foram realizados e constatou-se que há grandes diferenças entre os resultados obtidos nas regiões brasileiras, devido às variações climáticas, essencialmente na radiação solar, na luminosidade, na temperatura do ar e na pluviosidade.

Em parte da região Norte ocorre sazonalidade de produção nos meses mais chuvosos, provocada por nebulosidade constante e consequente redução da radiação solar incidente. Na região Nordeste, na parte meridional da região Norte e na parte setentrional da região Centro-Oeste, radiação solar, luminosidade e temperatura do ar não são limitantes ao desenvolvimento vegetativo das forrageiras tropicais, e a disponibilidade hídrica é o fator determinante da estacionalidade. Já em grande parte das regiões Sudeste e Sul, e na parte meridional da região Centro-Oeste, os três elementos são limitantes durante outono e inverno, e a disponibilidade hídrica é limitante na primavera e em estiagens curtas no verão (veranicos).

Os trabalhos mais recentes apontam efeitos positivos da irrigação em pastagens, que também permite a incorporação de outras tecnologias, tais como a fertirrigação e a sobressemeadura de forrageiras de inverno em pastagens tropicais, principalmente nas regiões com inverno frio e seco (Temperaturas mínimas abaixo de 15°C e déficit hídrico). Tais situações ocorrem, principalmente, nas regiões Sudeste e Centro-Oeste.

Desta forma, tem crescido o interesse dos produtores rurais pela irrigação de pastagens, principalmente na cadeia leiteira, cuja estrutura fundiária e rentabilidade potencial induzem maior demanda por técnicas de intensificação da produção. Os principais motivos disto são: condições climáticas desfavoráveis; tamanho das propriedades rurais (pequenas e médias); custos de produção, rentabilidade e lucratividade; e demandas competitivas pelo uso da terra.

Entretanto, há vários fatores que interferem na viabilidade econômica da irrigação de pastagens. Entre eles, cita-se a estrutura do rebanho (percentagem de cada categoria animal), o estágio de intensificação (rebanho em crescimento ou estabilizado, uso insumos, instalações, manejo etc.) e a qualidade da orientação técnica.

Este capítulo tem por objetivo apresentar a irrigação de pastagens sob os pontos de vista da literatura científica e dos textos técnicos coletados em revistas e *websites*, na tentativa de apresentar diferentes visões sobre o tema.

2. REVISÃO DE LITERATURA

2.1. Efeitos da irrigação em sistemas de produção animal baseados em pastagens

As pesquisas sobre irrigação de pastagens no Brasil surgiram com a hipótese de que sua utilização eliminaria a estacionalidade de produção de forragem, definida como o período do ano em que há redução acentuada do desenvolvimento vegetativo das forrageiras devido a restrições climáticas (temperatura, luminosidade e precipitação pluvial).

Os primeiros trabalhos brasileiros sobre irrigação de pastagens foram feitos na região Sudeste, em locais com inverno seco e frio, cujas temperaturas limitam o potencial produtivo de forrageiras tropicais. As conclusões dos autores mostram que a irrigação não possibilita a eliminação da estacionalidade de produção de forragem. A condução dos experimentos estava focada no cultivo exclusivo de forrageiras tropicais, utilizando as técnicas disponíveis à época em que foram realizados (espécies e cultivares forrageiras; fertilidade do solo, adubação etc.). Por isso, houve várias limitações à produtividade e os resultados não foram animadores.

Ladeira *et al.* (1966) realizaram estudo sobre adubação nitrogenada e irrigação no período seco, em Viçosa, MG, verificando que a irrigação aumentou em 24% a produção de massa verde em relação à testemunha. Os autores utilizaram os capins pangola (*Digitaria decumbens*), sempre-verde (*Panicum maximum* Jacq. – Syn. *Megathyrsus maximus*) e gordura (*Melinis minutiflora*), cuja produtividade de forragem é inferior à das gramíneas tropicais mais utilizadas em sistemas de produção intensiva com pastagens irrigadas.

Há relatos de maior efeito da irrigação, sobretudo em conjunto com a fertilização. Pereira *et al.* (1966) citados por Cunha (2005) realizaram experimento com 10 gramíneas¹ para avaliar os efeitos da adubação e da irrigação durante a época seca, em duas localidades de Minas Gerais. Os autores observaram efeito sinérgico entre adubação e irrigação, com aumentos da produção de massa verde de 56%, 72% e 209% devido à adubação, à irrigação e a adubação + irrigação, respectivamente. Efeitos semelhantes foram relatados por Tosi (1973), com aumentos de 26%, 32% e 65% devido à irrigação, à adubação e à adubação + irrigação, respectivamente. Tais estudos evidenciam a importância de reajuste de adubação em pastagens irrigadas.

Ghelfi Filho (1972) utilizou três níveis de irrigação e uma testemunha sem irrigação em capim elefante (*Pennisetum purpureum* Schum.) cv. Napier, em Piracicaba, SP. O autor realizou cortes de forragem em intervalos de 61 dias e aplicou 20 kg ha⁻¹ de N após cada corte. A produção de matéria seca do capim-elefante foi próxima de 25 Mg ha⁻¹ ano⁻¹, com 18,7 a

¹ Não foi possível obter o artigo original para identificar as forrageiras utilizadas.

18,2 Mg ha⁻¹ de MS no período de primavera-verão (75% do total) e 6,0 a 5,7 Mg ha⁻¹ de MS no período de outono-inverno. A irrigação aumentou a produção anual de matéria seca durante o período frio e seco, mas não alterou a curva de estacionalidade de produção (relação inverno:verão de 1:3). O autor também afirmou que a irrigação foi mais vantajosa no período quente e úmido (primavera e verão) do que no período frio e seco (outono e inverno).

O longo intervalo entre cortes utilizado e as baixas doses de adubação nitrogenada, citados pelo autor (61 dias e 20 kg ha⁻¹ de N a cada corte) não condizem com as necessidades dessas forrageiras em sistemas irrigados. Longos intervalos entre cortes aumentam o acúmulo de forragem, mas reduzem sua qualidade, e a adubação nitrogenada em doses baixas resultam em menor capacidade de produção de forragem.

Carvalho *et al.* (1975) realizaram experimento com duas variedades de capim elefante (Mineiro IPEACO e Gigante de Pinda), em Itaguaí, RJ, testando irrigação e adubações orgânica e química. Os autores observaram que o uso da irrigação no período seco não afetou o rendimento de matéria seca, nem o de proteína bruta, e admitiram a hipótese de que a água não é o único fator limitante ao desenvolvimento dos capins estudados.

Ghelfi Filho (1978) realizou estudo sobre irrigação de *Panicum maximum* (Jacq.) (Syn. *Megathyrsus maximus*) cv. Colômbio e as conclusões foram semelhantes às de seu trabalho anterior (Ghelfi Filho, 1972): aumento de produção e estacionalidade inalterada. Faria e Corsi (1986) citaram resultados de experimento com capim-elefante e relataram que a produção de matéria seca foi de 72% no período de primavera/verão e 28% no período de outono/inverno.

Os autores dos trabalhos citados constataram que a irrigação não elimina a estacionalidade da produção, e cogitaram haver outros fatores limitantes à produção. Todos realizaram experimentos em áreas de cultivo exclusivo de forrageiras tropicais, sem considerar a possibilidade de cultivo consorciado no período hibernal (outono/inverno), com forrageiras capazes de produzir em temperaturas limitantes às forrageiras tropicais. Tal consórcio com forrageiras hibernais durante outono e inverno (sobressemeadura) aumenta a produção e a disponibilidade de forragem, o que não foi considerado em nenhum dos trabalhos citados.

Atualmente se recomenda que pastagens irrigadas sejam manejadas em sistemas de produção intensiva, em pastejo rotacionado e com intervalos de pastejo mais curtos, determinados pela fenologia da planta forrageira. Geralmente, tais intervalos situam-se entre 20 e 50 dias, de acordo com a espécie forrageira (OLIVEIRA *et al.*, 2000; CEDENO *et al.*, 2003; DUQUE *et al.*, 2013), com as necessidades nutricionais dos animais, com a interação entre nutrientes e altura de corte (PEREIRA *et al.*, 2012) e com os elementos climáticos, tais como a temperatura, o fotoperíodo e a radiação solar incidente (PINHEIRO, 2002).

Trabalhos mais recentes apontam efeitos positivos da irrigação em pastagens devido à incorporação de outras tecnologias, tais como pastejo rotacionado irrigado (TEIXEIRA *et al.*, 2013), sistemas e manejo da irrigação (MENDONÇA *et al.*, 2007; CUNHA *et al.*, 2008; MENDONÇA *et al.*, 2010), redução do período de estacionalidade em forrageiras tropicais irrigadas (RASSINI, 2004), manejo da fertilidade e adubação (MARCELINO *et al.*, 2003; ALVIM *et al.*, 2000; SORIA, 2003; SANCHES *et al.*, 2017), fertirrigação com fertilizantes químicos e orgânicos (GOMES, 2015), e sobressemeadura de forrageiras de inverno em pastagens tropicais (SANCHES *et al.*, 2015). A fertirrigação aumenta a eficiência da adubação e a sobressemeadura aumenta a oferta de forragem no período estacional das forrageiras tropicais.

Novos trabalhos de pesquisa sobre pastagens foram realizados, tanto em regiões de inverno frio e seco quanto em regiões de inverno quente e seco, para onde se deslocaram as atividades pecuárias. Tais trabalhos visaram avaliar o potencial produtivo de pastagens irrigadas e os efeitos das novas técnicas de cultivo (fertilidade do solo, manejo de pastejo rotacionado, novas cultivares e cultivo consorciado).

2.1.1. Manejo da pastagem e do pastejo com forrageiras tropicais

Vários fatores podem interferir nos resultados obtidos com a irrigação em pastagens tropicais, tais como a espécie e a cultivar, as alturas do dossel forrageiro antes (altura de entrada) e após o pastejo (resíduo pós-pastejo), a fertilidade do solo e a adubação. Pode-se citar o manejo da pastagem e o manejo do pastejo como fatores essenciais.

Sobre o manejo da pastagem, alguns dos fatores mais importantes referem-se à escolha da espécie forrageira e do sistema de pastejo (contínuo ou rotacionado). De modo geral, as pastagens irrigadas são conduzidas sob pastejo rotacionado. Os principais gêneros e espécies são *Urochloa brizantha* (Syn. *Brachiaria brizantha*), *Megathyrsus maximus* (Syn. *Panicum maximum* Jacq.), *Cynodon* spp. e *Pennisetum purpureum* (Schum.), com várias cultivares. Nos gêneros *Cynodon* e *Pennisetum* há híbridos com alta produtividade.

Com relação ao sistema rotacionado, é muito importante utilizar o intervalo de pastejo mais adequado a cada forrageira para garantir a perenidade da pastagem e obter o melhor resultado possível. É necessário avaliar as combinações entre oferta e qualidade nutritiva da forragem, que são antagônicas a partir de certo ponto do ciclo fenológico: com o aumento da oferta, a qualidade cai acentuadamente.

Silva *et al.* (2015) observaram que o manejo do pastejo tem sido pesquisado há muito tempo, mas nas duas últimas décadas houve avanços significativos na compreensão dos fatores e processos fundamentais que determinam o manejo adequado das plantas forrageiras tropicais. Em alguns trabalhos há recomendações para que o intervalo de pastejo seja explicitamente definido pelo desenvolvimento da pastagem, utilizando a interceptação luminosa do dossel forrageiro (IL, %) como critério para definição do momento de entrada dos animais (SILVA *et al.*, 2009; SILVA *et al.*, 2015). Segundo Silva e Corsi (2003), a IL de 95% indica o momento a partir do qual as forrageiras reduzem o acúmulo de matéria seca em lâminas foliares e aumentam rapidamente o acúmulo em colmos e em material morto.

Outros trabalhos relacionam a IL à altura do dossel forrageiro, pois a medição dessa altura pode ser facilmente adotada em propriedades rurais. Entretanto, a altura do dossel é bastante variável, mesmo entre cultivares de uma mesma espécie. Trabalhando com *Megathyrsus maximus* (Syn. *Panicum maximum* Jacq.), a IL = 95% ocorreu quando o dossel forrageiro atingiu a altura de 0,7 m na cv. Tanzânia (MELLO E PEDREIRA, 2004; BARBOSA *et al.*, 2007), e 0,9 m na cv. Mombaça (CARNEVALLI *et al.*, 2006).

Andrade *et al.* (2012) realizaram um estudo em Rio Paranaíba, MG, comparando a produção de forragem dos capins Tifton-85 (híbrido de *Cynodon dactylon* x *Cynodon nlemfuensis* cv. Tifton-68) e Vaquero (*Cynodon dactylon*) em pastagem irrigada e fertirrigada, ao longo das estações do ano. Os autores citaram que a altura ideal do dossel forrageiro para início do pastejo e o intervalo entre cortes no verão para Tifton-85 e Vaquero foram, respectivamente, de 25,4 e 23,7 cm, aos 23 e 22 dias após o corte. No outono os autores recomendaram intervalo de pastejo ou corte de 29 dias para ambas as forrageiras.

Com base nas observações dos autores citados, a altura do dossel forrageiro pode ser utilizada para determinar o início do pastejo, desde que se considere cada cultivar para obter melhores resultados. Euclides *et al.* (2014) elaboraram uma tabela de alturas pré e pós-pastejo de algumas forrageiras dos gêneros *Brachiaria* (Syn. *Urochloa*) e *Panicum* (Syn. *Megathyrsus*) baseada em diversas referências (Tabela 1).

Alguns autores definiram o melhor momento de corte ou pastejo a partir de características morfológicas e da resposta produtiva da forrageira, citando como indicadores o acúmulo de forragem e o número de folhas por perfilho. Pena *et al.* (2009) realizaram estudo com *Panicum maximum* (Jacq.) (Syn. *Megathyrsus maximus*) cv. Tanzânia e recomendaram que o intervalo de corte ou pastejo não exceda o tempo necessário para o aparecimento de duas a três folhas por perfilho, relacionando esse aparecimento à interceptação luminosa. Resultado similar foi relatado por Silveira *et al.* (2013), em trabalho com *M. maximus* cv. Mombaça.

Tabela 1 - Altura pré e pós-pastejo para manejo de cultivares de *Megathyrsus maximus* (Syn. *Panicum maximum*) e *Urochloa brizantha* (Syn. *Brachiaria brizantha*) em pastejo rotacionado.

Gramíneas	Altura (cm)		Referência
	Pré-pastejo	Pós-pastejo	
<i>Megathyrsus maximus</i> (Syn. <i>Panicum maximum</i>)			
Aruana	30	15	Zanini <i>et al.</i> (2012)
Massai	55	15 - 30	Barbosa <i>et al.</i> (2010)
Milênio	90	30 - 50	Barbosa <i>et al.</i> (2009)
Tanzânia	70	25 - 50	Barbosa <i>et al.</i> (2007)
Mombaça	90	30 - 50	Carnevalli <i>et al.</i> (2006)
<i>Urochloa brizantha</i> (Syn. <i>Brachiaria brizantha</i>)			
Mulato ¹	30	20	Silveira <i>et al.</i> (2013)
Marandu	25	15	Giacomini <i>et al.</i> (2009)
Xaraés	30	15	Pedreira <i>et al.</i> (2009)

¹ Híbrido (*U. ruziziensis* x *U. brizantha*)

Fonte: Adaptado de Euclides *et al.* (2014)

2.1.2. Sinergia entre irrigação e adubação nitrogenada

Outra mudança proposta em trabalhos recentes refere-se à adubação nitrogenada. Sabe-se que há sinergia entre adubação nitrogenada e disponibilidade de água às plantas. Forrageiras em ambiente com maior disponibilidade de água (sem excesso) devem receber adubação nitrogenada com maior frequência e em maiores doses que no cultivo de sequeiro.

Pinheiro (2002) e Soria (2003) participaram de um experimento sobre doses de adubação nitrogenada em pastagem irrigada com sistema pivô central e *Megathyrsus maximus* (Syn. *Panicum maximum*) cv. Tanzânia, em Piracicaba, SP. No experimento houve nove ciclos de crescimento e pastejo com gado de corte. Os autores relataram efeito significativo e acentuado da adubação nitrogenada sobre a produtividade, e acentuada estacionalidade na produção de forragem (Figura 1), bem como redução do potencial produtivo por limitação de fertilidade do solo, principalmente relacionada ao potássio, como foi relatado por Soria (2003).

Marcelino *et al.* (2003) ressaltaram o efeito interativo entre adubação e irrigação em experimento com o capim Tifton-85 (híbrido *Cynodon dactylon* x *Cynodon nlemfuensis*), associando níveis de adubação nitrogenada (0, 45, 90, 180 e 360 kg ha⁻¹ de N) a níveis de potencial matricial de água no solo para o início da irrigação (ψ_m : 35, 60, 100 e 500 kPa), medido à profundidade de 15 cm. As doses de N influenciaram a produção de matéria seca em todos os níveis de ψ_m . A maior produtividade de forragem ($PF_{m\acute{a}x} = 41,8$ Mg ha⁻¹) foi obtida com 360 kg ha⁻¹ de N e irrigação em $\psi_m = 35$ kPa; a menor produtividade (17,3 Mg ha⁻¹, 41,4%

de $PF_{m\acute{a}x}$), sem adio de N e irrigao em $\psi_m = 100$ kPa. Os autores tambm relataram maiores taxas de produo de mteria seca (TPMS) no perodo de temperaturas elevadas e aumento do IAF juntamente com as doses de N. Finalmente, relataram que nos perodos de baixa temperatura no houve respostas de TPMS e IAF s doses de N.

Figura 1 – Produo de mteria seca ($kg\ ha^{-1}$ de MS) por ciclo de crescimento e pastejo, de acordo com a dose de adubao nitrogenada ($kg\ ha^{-1}\ ano^{-1}$).

Fonte: Pinheiro (2002)

Oliveira *et al.* (2004) realizaram um estudo sobre adubao nitrogenada em *Urochloa brizantha* (Syn. *Brachiaria brizantha*) cv. Marandu, com e sem irrigao, obtendo produtividades mximas em torno de 20 e 14 $Mg\ ha^{-1}$, respectivamente. O uso da irrigao ampliou a resposta  adubao nitrogenada, passando de 567 para 803 $kg\ ha^{-1}$ de N (Figura 2). Tais resultados mostram que o aumento na dose de N no tratamento irrigado (+42%) no reduziu a eficincia de uso do nutriente pela cultura. A produtividade de forragem por kg de N e a quantidade de N por kg de MS foram similares em ambos os tratamentos (Irigado: 24,91 $kg\ ha^{-1}\ MS\ kg^{-1}\ N$ e 40,2 $mg\ N\ kg^{-1}$ de MS; No irrigado: 24,69 $kg\ ha^{-1}\ MS\ kg^{-1}\ N$ e 40,5 $mg\ kg^{-1}$ de MS). Tal fato atesta a necessidade de maiores doses do nutriente em sistemas irrigados, sem aumento do risco de lixiviao do nutriente e contaminao de fontes de gua.

Alencar *et al.* (2010) realizaram experimento em rea irrigada, testando doses de N (100 a 700 $kg\ ha^{-1}\ ano^{-1}$) em seis forrageiras tropicais (*U. brizantha* cv. Xaras e Marandu; *M. maximus* cv. Mombaa e Tanznia; *P. purpureum* cv. Pioneiro; e *C. dactylon* cv. Estrela). Os autores relataram que os capins Estrela e Tanznia apresentaram a maior e a menor cobertura do solo, respectivamente, e os capins Pioneiro e Marandu apresentaram a maior e a menor altura

do dossel forrageiro, respectivamente. Não houve efeito da adubação nitrogenada sobre a altura do dossel e a cobertura do solo no período de outono/inverno, exceto no capim Xaraés (redução da cobertura e aumento da altura). Houve redução da cobertura e da altura do capim Pioneiro e da altura do capim-Estrela no período de primavera/verão.

Figura 2 – Produção de forragem (kg ha^{-1} de MS) de *Urochloa brizantha* (Syn. *Brachiaria brizantha*) cv. Marandu em função da dose de nitrogênio, (a) sem irrigação e (b) com irrigação.

Fonte: Oliveira *et al.* (2004)

Mota *et al.* (2010) avaliaram o efeito de doses de N (100, 300, 500 e 700 kg ha⁻¹ ano⁻¹) e de lâminas d'água de irrigação baseadas na evapotranspiração de referência (0, 20%, 40%, 80%, 100% e 120% ETo) em *Pennisetum purpureum* (Schum.) cv. Pioneiro, cultivado no Norte de Minas Gerais entre abril e setembro. Os autores relataram que as lâminas d'água e as doses de N elevaram a produção de MS em 154% (de 2.539,08 para 6.445,72 kg corte⁻¹), reduziram o efeito estacional de produção de forragem, aumentaram linearmente a altura das plantas, a produção de matéria seca e a densidade de perfilhos, e reduziram os teores de PB.

Mochel Filho *et al.* (2016) realizaram experimento com dois níveis de irrigação baseados na evaporação do Tanque Classe A (50% e 80% ECA) e quatro doses de N (200, 400, 600 e 800 kg ha⁻¹ ano⁻¹) em *Panicum maximum* (Syn. *Megathyrsus maximus*) cv. Mombaça. As lâminas de irrigação não afetaram a eficiência de uso de N (EUN), as produções de matéria seca total (PMST), de folhas (PMSF) e de colmos (PMSC), e o teor de fibra em detergente neutro (FDN). A adubação nitrogenada aumentou PMST, PMSF e PMSC, e reduziu EUN. Também relataram que os teores de proteína bruta (PB), PMSF e PMSC foram influenciados pela interação lâminas de irrigação x dose N, com efeito linear das doses N sobre PB. Os teores de fibra em detergente ácido (FDA) foram menores na maior lâmina de irrigação, e reduzidos com o incremento da dose N. A combinação de irrigação 50% ECA e dose 800 kg ha⁻¹ ano⁻¹ de N resultou nos maiores valores de produtividade, composição bromatológica e economia de água.

Rodrigues *et al.* (2010) realizaram experimento com níveis de irrigação (80%, 50% e 20% da ECA) e adubação nitrogenada (100; 250; 400 e 550 kg ha⁻¹ ano⁻¹) fracionada em cobertura, nos capins Tangola e Digitaria. Os autores relataram interação entre os fatores testados; o teor de fibra em detergente neutro foi maior em Digitaria, em todos os níveis de adubação nitrogenada e no nível de irrigação 80% ECA. O teor de fibra em detergente ácido (FDA) foi maior no Tangola com adubação de 550 kg ha⁻¹ de N e nível de irrigação 50% ECA. Em ambas as gramíneas, a adubação nitrogenada afetou positivamente o teor de proteína bruta.

Silva *et al.* (2012) realizaram experimento em Uberaba, MG, com o objetivo de estimar a produção de matéria seca, a temperatura basal e a soma térmica de seis forrageiras tropicais irrigadas e sob adubação com 450 kg ha⁻¹ de N e 480 kg ha⁻¹ de K₂O, com cortes baseados na faixa de altura adequada do dossel forrageiro (altura de corte e do resíduo pós-corte). Os resultados de produção de matéria seca em nove ciclos de crescimento e corte estão na Tabela 2. Os resultados foram surpreendentes, pois não era esperado que a *U. decumbens* (Syn. *Brachiaria decumbens*) cv. Basilisk apresentasse a maior produtividade de matéria seca. Geralmente as forrageiras das espécies *U. brizantha* e *M. maximus* (Syn. *Panicum maximum*) apresentam as maiores produtividades de forragem em áreas irrigadas e com altas doses de N.

Tabela 2 – Produção de matéria seca (Mg ha^{-1}) de plantas forrageiras sob irrigação em diferentes ciclos de crescimento e corte

Mês	<i>U. decumbens</i>	<i>U. brizantha</i>		<i>M. maximus</i>		<i>Cynodon spp.</i>
	Basilisk	Marandu	Xaraés	Mombaça	Tanzânia	Tifton-85
Dez	2,89	1,59	4,35	2,61	1,48	4,13
Jan	5,46	6,50	4,87	4,97	3,98	4,17
Mar	8,00	4,49	6,17	3,80	4,23	2,40
Abr	3,44	1,73	4,04	4,27	2,99	3,69
Mai	6,37	2,86	5,01	2,57	1,92	2,87
Jun	3,42	3,63	2,59	1,95	1,83	2,12
Ago	4,06	5,29	8,89	2,69	3,82	2,02
Set	4,22	6,40	2,46	6,74	3,21	2,91
Out	8,07	4,90	4,46	9,24	4,64	1,86
Dez	5,15	5,07	5,12	3,88	5,17	2,75
Total	51,08	42,46	47,96	42,72	33,27	28,92

Fonte: Fonte: Adaptado de Silva et al. (2012).

Silva *et al.* (2013) testaram duas fontes de N (sulfato de amônia e ureia) e quatro níveis de adubação nitrogenada (0 a 300 kg ha^{-1} de N) em *U. brizantha* (Syn. *Brachiaria brizantha*) cv. Marandu em São Luís de Montes Belos, GO, constatando que a maior dose de N aumentou a altura de plantas, a densidade de perfilhos e a massa seca das lâminas foliares.

Matos (2017) avaliou a resposta de *Cynodon spp.* ao parcelamento da adubação nitrogenada em pastagem irrigada e concluiu que o melhor resultado foi obtido com aplicação única, sem parcelamento (dose total de 200 kg ha^{-1}), com produção total de forragem de $23,64 \text{ Mg ha}^{-1} \text{ ano}^{-1}$ e taxas de acúmulo de forragem (TAF) de $111,74$ a $199,57 \text{ kg ha}^{-1} \text{ dia}^{-1}$. Resultados positivos do parcelamento da adubação nitrogenada parecem estar ligados a doses maiores que a utilizada pelo autor.

A junção de alta fertilidade do solo, manejo intensivo do rebanho e da pastagem, sobressemeadura e irrigação tem dados bons resultados (SANCHES et al., 2015; SANCHES et al., 2017). Desta forma, tem crescido o interesse dos produtores rurais pela irrigação de pastagens, principalmente na cadeia leiteira, cuja estrutura fundiária e rentabilidade potencial induzem maior demanda por técnicas de intensificação da produção. Os principais motivos disto são: (a) condições climáticas desfavoráveis; (b) tamanho das propriedades rurais leiteiras (pequenas e médias propriedades); (c) custos de produção, rentabilidade e lucratividade; (d) demandas competitivas pelo uso da terra. Cada motivo é detalhado a seguir.

2.1.2.1. Condições climáticas desfavoráveis

Rolim (1994) apresentou uma análise climática mostrando que os principais fatores limitantes à produtividade de forrageiras nas zonas tropical e subtropical são a temperatura e o déficit hídrico (36% e 31% da área, respectivamente) (Tabela 3). Déficit hídrico e temperatura, respondem por mais 24% dessas zonas climáticas, mostrando que a baixa disponibilidade hídrica interfere em 55% da área total. Portanto, o aumento da produtividade de pastagens tropicais depende do aumento da redução do déficit hídrico, bem como do uso de forrageiras adaptadas a temperaturas baixas no período de outono/inverno.

Tabela 3 – Influência da temperatura e do déficit hídrico no crescimento de forrageiras tropicais em áreas tropicais (entre as latitudes 30°N e 30°S)

Fator	Fração da área com crescimento limitado
Temperatura	36%
Déficit Hídrico	31%
Ambos	24%
Nenhum	9%

Fonte: Rolim (1994).

Carneviskis (2016) realizou um estudo sobre déficit hídrico em pastagens no Brasil e relatou que a demanda hídrica máxima varia entre 0,9 e 6,4 mm dia⁻¹, mostrando a grande variabilidade do clima e da demanda de irrigação, que pode contribuir para elevar a produção de forragem nas áreas e estações do ano em que a água é o fator limitante.

A autora observa que, em algumas regiões, a resposta das forrageiras tropicais à irrigação é maior durante primavera e verão do que durante outono e inverno, devido aos veranicos e aos níveis mais altos de temperatura do ar e luminosidade. No período de outono/inverno há limitações adicionais à produção de forragem, tais como radiação solar, luminosidade e temperatura do ar. Em regiões com tais limitações, a viabilização da irrigação de pastagens passa pela utilização da sobressemeadura, cultivo consorciado de forrageiras de inverno em pastagens tropicais (Ex.: aveia e azevém anual). Tal técnica aumenta a disponibilidade e a qualidade de forragem no período hibernal.

2.1.2.2. Tamanho das propriedades leiteiras e renda mínima

O Censo Agropecuário de 2017 (IBGE, 2017) apontou que a maioria das propriedades

leiteiras brasileiras tem área igual ou inferior a 50 ha, e quase a metade tem área de até 20 ha (Tabela 4). A maioria (73,4%) das propriedades leiteiras do Brasil tem área igual ou inferior a 50 ha, com maior concentração até esse limite nas regiões Centro-Oeste e Sul (89,6% e 88,5%, respectivamente). A exceção é a região Norte (47,2%), possivelmente devido à maior área de reserva legal prevista no Código Florestal Brasileiro (80% na Amazônia Legal). Assim, propriedades de 100 ha na região Norte têm máxima área útil de 20 ha, inferior à de propriedades de 50 ha nas regiões Sul, Sudeste e Nordeste (Reserva legal de 20%, área útil de 40 ha), e na maior parte da Centro-Oeste (reserva legal de 35%, área útil de 32,5 ha).

Tabela 4 – Distribuição das propriedades produtoras de leite, no Brasil e por região.

Classe de área (ha)	Área acumulada (%)					
	Brasil	Norte	Nordeste	Sudeste	Sul	Centro-Oeste
≤ 0,1	0,08	0,04	0,13	0,07	0,05	8,17
0,1 - 0,2	0,14	0,06	0,23	0,14	0,10	16,34
0,2 - 0,5	0,33	0,12	0,60	0,27	0,25	24,50
0,5 - 1	0,84	0,18	1,64	0,55	0,79	32,66
1 - 2	2,49	0,35	4,89	1,78	2,24	40,83
2 - 3	5,04	0,71	8,84	4,16	4,92	49,01
3 - 4	7,94	1,03	13,49	6,93	8,05	57,08
4 - 5	11,26	1,93	17,34	10,64	11,78	65,16
5 - 10	24,48	5,17	32,10	24,28	29,07	73,53
10 - 20	45,61	13,98	50,97	45,41	60,38	81,73
20 - 50	73,38	47,17	75,88	72,66	88,47	89,57
50 - 100	86,23	71,39	87,68	86,13	95,67	94,03
100 - 200	93,23	85,95	94,21	93,83	98,10	96,70
200 - 500	97,61	94,49	98,24	98,43	99,39	98,37
500 - 1000	99,00	97,39	99,42	99,54	99,78	99,15
1000 - 2500	99,73	99,20	99,87	99,94	99,96	99,63
2500 - 10000	99,97	99,93	99,99	100	100	99,88
≥ 10000	100	100	100	100	100	100

Fonte: Adaptado de IBGE (2017).

Os dados da Pesquisa Pecuária Municipal (IBGE, 2019) permitem vislumbrar a evolução da produção e da produtividade de leite no Brasil, de 2008 a 2017 (Tabela 5).

Dados da Pesquisa Nacional por Amostra de Domicílios – PNAD (IBGE, 2019) mostram que a renda média mensal dos brasileiros em 2018 foi de R\$ 2.159,00 e a renda anual, R\$ 28.787,00 (13 salários e 1/3 adicional de férias).

Na Tabela 6 são apresentados os valores de produção anual e área necessária para que um produtor rural tenha lucro equivalente à renda média de um assalariado, considerando-se três níveis de lucro unitário (R\$ L⁻¹) e seis níveis de produtividade (L ha⁻¹ ano⁻¹).

Tabela 5 – Evolução da produção, do número de vacas ordenhadas, da área ocupada com a produção, e da produtividade de leite no Brasil, entre 2008 e 2017.

Ano	Produção (L x 10 ⁹)	Vacas ordenhadas (milhões)	Área ¹ (ha x 10 ⁶)	Produtividade anual		ΔP ² (%)	ΔV ³ (%)	ΔPdt ⁴ (%)
				(L ha ⁻¹)	(L vaca ⁻¹)			
2008	27,585	21,585	25,515	1081	1278	-	-	-
2009	29,085	22,435	26,519	1097	1296	5%	4%	1%
2010	30,715	22,925	27,098	1133	1340	11%	6%	5%
2011	32,096	23,229	27,458	1169	1382	16%	8%	8%
2012	32,304	22,804	26,955	1198	1417	17%	6%	11%
2013	34,255	22,955	27,133	1262	1492	24%	6%	17%
2014	35,124	23,028	27,220	1290	1525	27%	7%	19%
2015	34,610	21,111	24,954	1387	1639	25%	-2%	28%
2016	33,656	19,667	23,247	1448	1711	22%	-9%	34%
2017	33,491	17,060	20,166	1661	1963	21%	-21%	54%

Fonte: IBGE - Pesquisa Pecuária Municipal (2017)

1 - Estimativa a partir da lotação animal média de 0,94 UA/ha e peso médio das vacas de 500 kg PV (1,11 UA).

2 – Evolução da produção com base no ano 2008.

3 – Evolução do número de vacas ordenhadas com base no ano 2008.

4 – Evolução da produtividade anual (L ha⁻¹ ano⁻¹) com base no ano 2008.

Tabela 6 – Produção anual e área necessária para o produtor de leite obter renda equivalente à média do assalariado brasileiro¹, em três (03) níveis de lucro (R\$ L⁻¹) e cinco (05) níveis de produtividade (L ha⁻¹ ano⁻¹).

		Lucro (R\$ L ⁻¹)		
		0,10	0,20	0,30
		Produção necessária (L ano ⁻¹)		
		287795	143897	95932
		Área necessária (ha)		
Produtividade anual (L ha ⁻¹ ano ⁻¹)	2000	144	72	48
	10000	29	14	10
	20000	14	7	5
	30000	10	5	3
	40000	7	4	2

¹ Salário médio: R\$ 2.159,00; renda média anual: R\$ 28.779,47 (13 salários + 1/3 férias).

Considerando-se a média nacional de produtividade (cerca de 2.000 L ha⁻¹ ano⁻¹) e os níveis de lucro unitário apresentados na Tabela 6, as áreas úteis necessárias para garantir a renda média (48 a 144 ha) são maiores que na maioria das propriedades leiteiras brasileiras.

A manutenção dessa situação condena os produtores de leite a uma situação precária e pode levar à desistência de produzir. Tal possibilidade é confirmada no artigo de Galan e

Bezzon (2019)², que compararam dados dos censos agropecuários de 2006 e 2017 e observaram que, em 11 anos, cerca de 175 mil propriedades (13% do total) deixaram de produzir leite. A redução foi mais acentuada entre as propriedades com área até 5 ha (redução de 22%).

Mesmo com o lucro mínimo considerado, uma produtividade de 10.000 L ha⁻¹ ano⁻¹ garantiria renda média ao menos em 30% das propriedades leiteiras. Já a produtividade de 40.000 L ha⁻¹ ano⁻¹ possibilitaria que tal renda atingisse cerca de 75% delas. O aumento da produtividade até os níveis apresentados na Tabela 6 são factíveis e citados na literatura (CAMARGO *et al.*, 2006a, b, c, d, e), possibilitando aos produtores ultrapassar a renda média de um assalariado e estimulando-os a permanecer e investir na atividade.

2.1.2.3. Custos de produção, rentabilidade e lucratividade

A rentabilidade é um bom indicador de êxito econômico. Também conhecida como retorno sobre o capital investido, é a remuneração do capital investido nas atividades de uma empresa. A lucratividade é o ganho após o desconto de todos os gastos iniciais.

Considerando o lucro obtido na produção de leite e carne, é possível afirmar que a primeira atividade apresenta maior rentabilidade e maior lucratividade, que são fortes incentivos à produção de leite em propriedades rurais de qualquer porte.

Nem sempre a irrigação tem efeito positivo sobre a produção animal, e os resultados dependem do local onde o estudo é realizado. Pinheiro (2002) observou que vários pivôs centrais foram instalados em áreas de gado de corte e os resultados econômicos eram muito variáveis e imprevisíveis. O autor desenvolveu um método de análise econômica de viabilidade da irrigação de pastagens, focando em *Megathyrus maximus* (Syn. *Panicum maximum*) cv. Tanzânia. Para isto, utilizou dois modelos: (i) modelo matemático de simulação da produtividade da forrageira, calibrado com experimento de campo (PINHEIRO, 2002; SORIA, 2003) e baseado no acúmulo de unidades fototérmicas (VILLA NOVA *et al.*, 1999) e no nível de adubação nitrogenada (0 a 2079 kg ha⁻¹ ano⁻¹); (ii) modelo de avaliação de viabilidade econômica. O autor concluiu que a receita líquida obtida com gado de corte em áreas irrigadas variou de positiva a negativa, de acordo com a localidade, e que os resultados foram positivos em regiões com maiores temperaturas no período de outono/inverno.

² Galan, V. B.; Bezzon, L. C. **Quantos produtores de leite queremos ter no Brasil?** Piracicaba: MilkPoint, 2019. Disponível em: <https://www.milkpoint.com.br/noticias-e-mercado/panorama-mercado/quantos-produtores-de-leite-queremos-ter-no-brasil-216949/?utm_campaign=11780300&utm_source=sendpulse&utm_medium=push&utm_content=panorama-mercado%2Fquantos-produtores-de-leite-queremos-ter-no-brasil-216949%2F>. Acesso em 18/11/2019.

Ressalta-se que, no experimento de campo utilizado para os estudos de Pinheiro (2002) e Soria (2003), o capim Tanzânia foi cultivado sem sobressemeadura com forrageiras de inverno. Além disso, Soria (2003) relatou que os níveis de potássio no solo da área experimental estavam na faixa de alto a médio, mas caíram ao longo do experimento e chegaram a um nível classificado como “baixo” ($< 2\%$ da CTC), limitante à produtividade de forragem. Oliveira *et al.* (2008) observaram que, em sistemas de alta produtividade, a concentração de potássio na CTC deve ser de 5% a 6%, e não deve ser inferior a 3% para ocorrer o aumento da produção de forragem. Costa *et al.* (2001) chamam a atenção para a acentuada correlação entre deficiência nutricional causada por desequilíbrio entre Ca, Mg e K, especialmente em sistemas de alta demanda por nutrientes, tais como no pastejo rotacionado em manejo intensivo.

Maya (2003) realizou um estudo sobre produtividade e viabilidade econômica da irrigação em pastagens de capim Tanzânia em Piracicaba, SP, e relatou que a irrigação aumentou o acúmulo de MSPA da forrageira, inclusive no período chuvoso, mostrando o potencial de sua utilização em sistemas intensivos de produção de carne e leite, quando o déficit hídrico for o fator limitante. Entretanto, o autor afirmou que a irrigação só foi economicamente efetiva na transição entre os períodos seco e chuvoso.

Cavalcante (2010) realizou um experimento com cabras leiteiras em pastagem irrigada de capim Tanzânia, em Sobral-CE, avaliando os resultados técnicos e econômicos de quatro sistemas de manejo (extensivo, leve, moderado e intensivo), que incluíam a adubação nitrogenada (0 a 600 kg ha^{-1}) e altura do resíduo pós-pastejo (32,7 a 47,2 cm). Segundo a autora, a taxa de lotação animal foi significativamente maior no sistema intensivo. A produtividade de leite variou de 6673 a $19442 \text{ kg ha}^{-1} \text{ ano}^{-1}$ (sistemas extensivo e intensivo, respectivamente). O sistema intensivo teve maior eficiência de uso de água ($2 \text{ kg leite mm}^{-1}$ de água) e foi o único que apresentou viabilidade econômica.

Moraes *et al.* (2015) compararam os resultados obtidos em propriedades leiteiras do Estado do Rio de Janeiro, com e sem irrigação, e constataram aumento das produtividades por área e da mão de obra. Entretanto, concluíram que a irrigação de pastagens não alterou significativamente os índices avaliados e que ambos os conjuntos de propriedades estavam em processo de descapitalização.

Os diferentes resultados mostram que o investimento em irrigação é justificado mais facilmente em locais de clima quente e seco, com temperaturas mínimas superiores à temperatura-base inferior (T_b) das forrageiras tropicais. Em locais com temperaturas inferiores à T_b no outono e inverno é necessário lançar mão de técnicas complementares à irrigação, tais como a sobressemeadura de forrageiras de inverno em pastagens tropicais.

2.1.2.4. Demandas competitivas pelo uso da terra

As áreas agrícolas brasileiras têm sofrido grandes modificações nas últimas décadas e alternativas mais rentáveis aos produtores têm ganhado espaço no meio rural. Em regiões mais urbanizadas e industrializadas, a especulação imobiliária é importante vetor de conversão de terras agrícolas em condomínios residenciais e empreendimentos comerciais ou industriais. Em regiões menos urbanizadas, distantes de grandes centros e da periferia de cidades, tem ocorrido a substituição de pastagens degradadas por culturas como citros, café, cana-de-açúcar, soja, milho, algodão e florestas plantadas. Entretanto, sistemas intensivos de produção animal podem ser mais rentáveis que esses cultivos, desde que haja um bom planejamento das atividades, envolvendo seleção e manejo do rebanho, alta fertilidade do solo, recuperação ou reforma de pastagens degradadas e irrigação em locais com água disponível e déficit hídrico acentuado.

Em propriedades menores é maior a necessidade de intensificação, de modo a obter um nível de renda que incentive o produtor rural a permanecer em atividade e não arrendar ou vender a propriedade. Tratando-se de bovinos, a maioria da produção de leite é realizada em áreas menores e com maior rentabilidade que nas áreas de produção de carne. Portanto, provavelmente o investimento na irrigação avançou mais na produção de leite devido à necessidade premente de intensificação e à esperança de retorno econômico mais rápido, de modo a obter um bom nível de renda para o produtor rural e sua família.

A adoção da irrigação de pastagens em propriedades leiteiras aumenta quando há orientação técnica adequada. Um exemplo é o trabalho desenvolvido no Projeto Balde Cheio³, criado pela Embrapa Pecuária Sudeste e atualmente desenvolvido por várias unidades da Embrapa. Nesse projeto a irrigação é vista como fundamental em grande parte do território brasileiro e os produtores de leite são incentivados a adotá-la sempre que for possível.

Posteriormente, o aumento da adoção da irrigação de pastagens em propriedades leiteiras e a mudança de paradigma (produção intensiva x extensiva) atingiram a cadeia produtiva da carne e levaram produtores rurais a considerar a possibilidade de investimento na irrigação de pastagens em áreas de gado de corte.

2.2. Principais forrageiras em pastagens irrigadas no Brasil

Os sistemas de produção animal baseados em pastagens no Brasil apresentam alta diversidade de forrageiras. Pode-se dividi-las em forrageiras tropicais e hibernais (utilizadas

³ Link do Projeto Balde Cheio: <https://www.embrapa.br/balde-cheio>

durante o outono e o inverno). As tropicais podem ser nativas ou exóticas (provenientes de outros países). A grande maioria das exóticas tropicais é proveniente da África, principalmente gramíneas, mas há espécies das Américas, tais como as palmas forrageiras.

As forrageiras hibernais são utilizadas há muito tempo na região Sul, em cultivo exclusivo (solteiro) ou consorciado, devido às características climáticas regionais durante o outono e o inverno (temperaturas baixas e chuvas). Entretanto, a irrigação tem feito com que algumas dessas forrageiras sejam utilizadas na parte meridional das regiões Sudeste e Centro-Oeste, superando as dificuldades causadas pelo clima seco nessas estações.

A seguir, são apresentadas as características das principais forrageiras tropicais e de inverno (subitens 2.2.1 e 2.2.2) utilizadas em áreas irrigadas no Brasil.

2.2.2. Forrageiras tropicais

As principais espécies forrageiras tropicais utilizadas em pastagens cultivadas no Brasil são descritas por Valle *et al.* (2004), Valle *et al.* (2009) e Fontaneli *et al.* (2012a):

- a) Gênero Urochloa (Syn. Brachiaria): *U. brizantha* cv. Marandu, Xaraés e Piatã; *U. decumbens* cv. Basilisk, *U. ruziziensis* cv. Ruziziensis. Dentre estas espécies, *U. brizantha* é a mais difundida atualmente. O plantio é feito com sementes e a cultivar Marandu ocupa a maior área. Recentemente foi lançada a cv. Ipyporã, um híbrido de *U. ruziziensis* e *U. brizantha*.
- b) Gênero Megathyrsus (Syn. Panicum): *M. maximus* (Syn. *P. maximum* Jacq.). O plantio é feito com sementes e as cultivares que ocupam maior área são: Mombaça, Tanzânia, Massai e Tobiatã. Recentemente foram lançadas as cultivares Zuri e Quênia, promissoras para áreas de produção intensiva.
- c) Gênero Pennisetum: *P. purpureum* (Schum.). O plantio é feito por propagação vegetativa (colmos), de modo semelhante ao plantio de cana-de-açúcar. As cultivares que ocupam maior área são: Napier, Cameroon e Roxo. Recentemente foram lançadas as cultivares Kurumi e Capiçu.
- d) Gênero Cynodon: *C. dactylon*, *C. nlemfuensis* e híbridos (*Cynodon spp.*). Plantio por propagação vegetativa, com mudas ou ramas contendo os estolões. As cultivares que ocupam maior área são: Coastcross, grama Estrela, Tifton-85, Tifton-68 e Jiggs. Em áreas irrigadas predominam Tifton-85, Jiggs e grama Estrela Africana.

2.2.3. Forrageiras de inverno

Entre as forrageiras de inverno mais cultivadas na região Sul, há gramíneas e leguminosas. Nas demais regiões predomina o cultivo de gramíneas, especialmente em pastagens irrigadas. Segundo Carvalho *et al.* (2010) e Fontaneli *et al.* (2012b), as principais espécies em pastagens cultivadas são:

- a) Gramíneas: aveia preta (*Avena strigosa*), aveia branca (*Avena sativa*), aveia amarela (*Avena. byzantina*), azevém anual (*Lolium multiflorum*), azevém perene (*Lolium perenne*), centeio (*Secale cereale* L.), triticale (*X Triticosecale* Wittmack), capim-lanudo (*Holcus lanatus* L.), festuca (*Festuca arundinacea* Schreb.), faláris (*Falaris aquatica* L.) e capim-dos-pomares (*Dactylis glomerata* L.).
- b) Leguminosas: alfafa (*Medicago sativa*), cornichão (*Lotus corniculatus*), ervilhaca (*Vicia sativa*), trevo-subterrâneo (*Trifolium subterraneum* L.), trevo-vermelho (*Trifolium pratense*), trevo branco (*Trifolium repens*) e trevo-vesiculoso (*Trifolium vesiculosum* Savi.).

2.3. Sobressemeadura: cultivo consorciado em pastagens tropicais

Sistemas de produção animal baseados em pastagens nas regiões Sudeste e Centro-Oeste do Brasil sofrem queda de produtividade de forrageiras tropicais e restrição de oferta de forragem no período de outono/inverno. Inicialmente, isto ocorre por deficiência hídrica e, posteriormente, por redução da temperatura do ar e do fotoperíodo.

Rassini (2004) realizou experimento sobre produção de forragem em área irrigada com seis forrageiras tropicais (*Megathyrsus maximus* cv. Tanzânia; *Urochloa decumbens* cv. Basilisk, *Urochloa brizantha* cv. Marandu; *Cynodon dactylon* cv. Coastcross; *Pennisetum purpureum* cv. Napier; *Paspalum notatum* cv. Pojuca), em São Carlos, SP. O autor observou que a irrigação reduziu em 50% o período estacional (de 155 dias para 65-70 dias) em relação ao cultivo de sequeiro, mas não eliminou a estacionalidade.

A queda na capacidade de suporte das pastagens no período de estacionalidade gera a necessidade de fornecer alimentos volumosos conservados (silagem ou feno), ou cana-de-açúcar, aumentando o uso de mão-de-obra e o custo de produção (OLIVEIRA *et al.*, 2010). Nesse contexto, o cultivo consorciado com sobressemeadura de forrageiras de inverno em pastagens tropicais é uma alternativa de menor custo para aumentar a oferta de forragem.

As forrageiras de inverno são tradicionalmente utilizadas na região Sul do Brasil, em cultivo exclusivo (solteiro) ou consorciado. Nessa região o inverno é chuvoso e praticamente não há restrição hídrica ao seu desenvolvimento. Entretanto, grande parte das regiões Sudeste e Centro-Oeste tem inverno frio e seco (temperaturas abaixo de 15°C e déficit hídrico). Nessas condições, a sobressemeadura só é viável em pastagens irrigadas.

A irrigação é indispensável para o sucesso do cultivo de azevém e aveia na região Sudeste (ALVIM *et al.*, 1994), bem como para a expansão da sobressemeadura em pastagens tropicais para todas as localidades com outono e inverno frios e secos.

O cultivo consorciado em sobressemeadura tem grande importância em pastagens irrigadas, pois reduz o período de estacionalidade e aumenta a oferta de forragem nas pastagens tropicais no período de outono/inverno. Em pastagens tropicais, a sobressemeadura visa reduzir os efeitos da estacionalidade de produção de forragem, diminuir custos com suplementação de concentrados e volumosos conservados, maximizar a utilização da área e de equipamentos de irrigação, e reduzir a área destinada à produção de forragem conservada (ex.: silagem) e a necessidade de mão-de-obra na propriedade (BERTOLOTE, 2009).

Na maioria das áreas de pastagens com sobressemeadura são utilizadas duas espécies hibernais em conjunto. A combinação mais comum tem sido o azevém anual (*Lolium multiflorum*) e a aveia preta (*Avena strigosa*), mas também podem ser utilizados cereais de duplo propósito (trigo, aveia branca, cevada, centeio e triticale) (FONTANELI *et al.*, 2016). A produção de forragem de cada espécie ocorre em diferentes períodos: as aveias são mais precoces (60% em junho e julho) e o azevém, mais tardio (70% entre agosto e setembro) (POSTIGLIONI, 1982). O uso de mais de uma espécie equilibra a oferta de forragem durante o período estacional das forrageiras tropicais.

Oliveira *et al.* (2005) realizaram um estudo de sobressemeadura de aveia preta em pastagens tropicais irrigadas no Estado de São Paulo, no período frio e seco, relatando o aumento de 60-70% na capacidade de suporte da pastagem, que passou de 2,5-3,5 UA ha⁻¹ em pastagem de cultivo solteiro para 4 a 6 UA ha⁻¹ em pastagens com sobressemeadura. Os autores observaram que a sobressemeadura de aveia só deve ser utilizada em áreas irrigadas ou em regiões com inverno chuvoso, tais como o Sul do Estado de São Paulo e a região Sul do Brasil.

O azevém anual, ou azevém italiano, é uma espécie rústica e vigorosa, nativa do sul da Europa. É tolerante ao pisoteio e possibilita período de pastejo de até cinco meses, justificando-se as consorciações com forrageiras precoces, como as aveias e o centeio. Tem grande capacidade de rebrote, é bem aceito pelos animais e pode produzir até 10 Mg ha⁻¹ de MS em consórcios (FONTANELI *et al.*, 2016). Populações de azevém provenientes da região Sul e

avaliadas em Valença, RJ, produziram de 3,6 Mg ha⁻¹ a 8,5 Mg ha⁻¹ de MS, e algumas delas foram indicadas para cultivo na região Sudeste (PEREIRA *et al.*, 2008).

Prudente Junior (2019) realizou experimento sobre métodos de determinação do consumo de água em cultivos consorciados de capim Marandu + centeio + azevém e Marandu + aveia preta + azevém. Segundo o autor, houve diferenças no consumo de água e na produtividade de forragem, com vantagem para o consórcio Marandu + aveia preta + azevém.

Nem sempre a sobressemeadura aumenta a oferta de forragem e justifica o investimento. Bertolote (2009) realizou experimentos de sobressemeadura com aveia amarela (*Avena byzantina*) e azevém anual em pastagens de capins Tanzânia, Mombaça, Coastcross e Marandu, em Pirassununga, SP. Não houve ganho significativo na produção de forragem, mas houve melhora na qualidade, com redução do teor de fibra em detergente neutro (FDN) e aumento na digestibilidade *in vitro* da matéria seca (DIVMS). A autora ressaltou a possibilidade de não haver vantagens na sobressemeadura nas condições em que os experimentos foram realizados.

Vários autores realizaram trabalhos com sobressemeadura na região Sul e verificaram que a sobressemeadura aumenta a produção de forragem (OLIVO *et al.*, 2010; OST *et al.*, 2010; TAFAREL *et al.*, 2010; HAHN *et al.*, 2015), com várias combinações de forrageiras tropicais e hibernais. Olivo *et al.* (2010) observaram que a combinação Coastcross + azevém + trevo-branco aumentou o período de utilização da pastagem anual e a produção de forragem. Ost *et al.* (2010) avaliaram a sobressemeadura em capim Tifton-85 em duas alturas de resíduo pós-corte (5 e 15 cm) e observaram que os melhores resultados foram obtidos com aveia preta + trevo vesiculoso e aveia preta + ervilhaca em resíduos de 5 e 15 cm, respectivamente. Tafarel *et al.* (2010) estudaram a sobressemeadura de várias forrageiras hibernais em *Brachiaria brizantha* (Syn. *Urochloa brizantha*) e os melhores resultados foram obtidos com ervilhaca. Também observaram queda da contribuição da forrageira tropical em sobressemeadura, indicando possíveis efeitos de competição entre espécies e alelopatia (aveia). Hahn *et al.* (2015) observaram que a sobressemeadura de aveia e azevém aumentou a produção de forragem em área de Tifton 85, com destaque para a cultivar de azevém Barjumbo.

Rodrigues *et al.* (2011) fizeram uma revisão de literatura tratando da sobressemeadura e encontraram resultados diversos, de acordo com a combinação de forrageiras tropicais e hibernais. De modo geral, os resultados são melhores em forrageiras tropicais e subtropicais de porte baixo, como as do gênero *Cynodon*, e quando se realiza um rebaixamento mais acentuado nas forrageiras de porte alto, como as dos gêneros *Megathyrsus* e *Pennisetum*.

Gomes *et al.* (2015) realizaram experimento em pastagem de capim Tifton-85, em Icaraíma, PR, com sobressemeadura de forrageiras de inverno em sistema irrigado (aveias Iapar

61, IPR 126 e FMS2, e aveia IPR 126 + centeio IPR 89), e um tratamento testemunha sem sobressemeadura. Os autores observaram que a maior produtividade de forragem foi obtida no consórcio Tifton-85 + aveia IPR 126, com razão folha/colmo superior à do capim Tifton 85 em cultivo exclusivo. Entretanto, também observaram que a sobressemeadura de forrageiras de inverno não aumentou a produtividade total da pastagem.

Por outro lado, Lino (2018) realizou experimento em Ilha Solteira, SP, avaliando vários métodos de sobressemeadura de aveia preta em pastagem de Tifton-85 e comparando a produção de forragem da testemunha (sem sobressemeadura) com a dos tratamentos de sobressemeadura. O autor observou que a sobressemeadura aumentou a produção de forragem, e que a melhor opção foi semear a aveia antes do pastejo, para que o pisoteio dos animais aumente o contato das sementes com o solo. O autor afirma que esse método aumenta a disponibilidade de forragem, com qualidade nutricional e baixo custo de implantação.

2.4. Consumo de água de forrageiras tropicais e de inverno

O consumo de água de um cultivo é denominado evapotranspiração da cultura (ETc) e pode ser medido ou estimado. As medições geralmente são feitas com lisímetros, sendo que os de pesagem são os mais adequados à tarefa por serem mais precisos, em intervalos iguais ou inferiores a um dia. A estimativa pode ser feita a partir de modelos agrometeorológicos, utilizando dados climáticos, ou a partir de medições da umidade e dos fluxos de água no solo.

No caso de estimativas com modelos agrometeorológicos, o modelo mais comumente utilizado para estimar ETo é o de Penman-Monteith (ALLEN *et al.*, 1998):

$$ET_o = \frac{0,408 \, s \, (Sr - G) + \frac{900 \, \gamma \, U_2 \, (es - ea)}{T + 273}}{s + \gamma \, (1 + 0,34 \, U_2)} \quad (1)$$

Em que:

ETo - evapotranspiração de referência (mm.dia⁻¹);

Sr - saldo de radiação (MJ.m⁻².dia⁻¹);

G - fluxo de calor para o solo (MJ.m⁻².dia⁻¹);

γ - constante psicrométrica ($\gamma = 0,063 \, \text{kPa.}^\circ\text{C}^{-1}$);

U₂ - velocidade do vento a 2m de altura (m.s⁻¹);

es - pressão de saturação de vapor (kPa);

ea - pressão atual de vapor (kPa);

T - temperatura do ar (°C); e

s - taxa de variação da pressão de vapor em função da temperatura do ar (kPa.°C⁻¹).

$$S = \frac{4098 \text{ es}}{(T+237,2)^2} \quad (2)$$

A partir de ET_o , utiliza-se um valor de coeficiente de cultura (K_c) que represente a necessidade de água em cada fase do ciclo fenológico e, assim, estima-se a ET_c :

$$ET_c = K_c \ ET_o \quad (3)$$

Rodrigues *et al.* (2009) realizaram estudo de estimativa de valores do K_c do capim Tanzânia, com ciclos de crescimento de 35 dias, no município de Parnaíba, PI. Os autores utilizaram lisímetros de pesagem para determinar a evapotranspiração da cultura (ET_c) e dados de uma estação meteorológica automática para estimar a evapotranspiração de referência (ET_o) com o modelo de Penman-Monteith. Os valores de K_c variaram de 0,5 a 1,25 nos primeiros 10 dias após o corte (DAC); de 1,25 a 1,65 entre 11 e 23 DAC; e de 1,55 a 1,15 de 24 a 35 DAC.

Os métodos de estimativa de ET_c com dados de solo envolvem a umidade e os fluxos de água no solo (ascensão capilar e drenagem profunda), além de medições da precipitação pluvial. Lourenço *et al.* (2001) realizaram estudo de estimativa de K_c a partir de dados climáticos e de umidade do solo, em medições com e obtiveram valores entre 0,45 e 0,98.

Os dados de ET_c são utilizados tanto no planejamento quanto no manejo da irrigação. No planejamento, utilizam-se séries de dados climáticos e valores de K_c para estimar a ET_c , e o balanço hídrico de cultura para estimar a demanda máxima de irrigação. No manejo, estima-se a ET_c ocorrida em um pequeno intervalo de tempo (geralmente de 1 a 5 dias) e utiliza-se a precipitação pluvial para fazer o balanço hídrico e estimar a necessidade de irrigação.

Xavier *et al.* (2004) observam que geralmente as lâminas d'água na irrigação por pivô central em sistemas de pastejo rotacionado são aplicadas inadequadamente, pois as plantas em cada piquete estão em diferentes estádios fenológicos, com diferentes taxas de evapotranspiração. Os autores desenvolveram um modelo de manejo da irrigação de pastagens tropicais com aplicação distinta em cada parcela, considerando: (i) a capacidade do pivô central aplicar lâminas distintas; ii) o estádio fenológico da cultura em cada parcela; (iii) o intervalo de pastejo (retorno do gado à parcela); (iv) o potencial produtivo da pastagem em cada região. Os autores modelaram o coeficiente de cultura (K_c) com dois métodos (taxas de variação constantes e forma senoidal, baseadas no número de dias de descanso). O modelo foi sensível ao nível de desenvolvimento nas parcelas e às condições climáticas regionais, possibilitando a aplicação em taxa variada, dependente da capacidade do sistema de irrigação em fazê-lo.

O estágio atual de evolução da irrigação de precisão já permite que sejam aplicadas lâminas d'água variáveis, inclusive ao longo da linha lateral. Isto facilita o manejo e pode aumentar a eficiência da irrigação, mesmo em pivôs cujos piquetes não têm formato de “fatia de pizza” (vários piquetes ao longo da linha lateral), tal como na Figura 3.

Bueno *et al.* (2009) realizaram estudo sobre consumo de água e produção de forragem de capim Tanzânia, e determinaram seus valores de K_c nas condições climáticas de Uberlândia, MG, utilizando lisímetro com grama e tanque “Classe A”. Os autores obtiveram uma produção de 26,1 Mg ha⁻¹ de MS e relataram um consumo médio de água de 5,39 mm dia⁻¹. Com relação ao K_c , relataram valores entre 0,61 e 1,04.

Figura 3 – Formatos de piquetes em pivôs centrais.

Fontes: Rehagro⁴ e Revista Globo Rural⁵.

Zambrano (2004) realizou estudo em El Zamorano, Honduras, investigando o consumo de água de *Panicum maximum* (Syn. *Megathyrsus maximus*) cv. Tobiatã, testando três lâminas d'água de irrigação, baseadas nos valores de K_c propostos pela FAO (K_{cFAO}): (i) $K_{c0,75FAO}$: 25% inferior K_{cFAO} ; (ii) K_{cFAO} ; (iii) $K_{c1,25FAO}$: valores 25% superiores ao K_{cFAO} . As taxas de acúmulo de forragem (TAF) foram de 74,53; 49,54; e 44,59 kg ha⁻¹ dia⁻¹ para os tratamentos (i), (ii) e (iii), respectivamente. O autor concluiu que o manejo que proporcionou a melhor estratégia foi utilizar valores de K_c 25% menores ($K_{c0,75FAO} = 0,38$ a $0,86$).

Na literatura consultada, não são abundantes os dados de K_c para forrageiras tropicais, o que pode prejudicar o manejo da irrigação. Portanto, novos estudos sobre o tema são necessários para detectar possíveis diferenças de consumo de água dessas plantas, tanto nas fases de cultivo como em locais com diferentes tipos de clima.

⁴ Instruções técnicas sobre a irrigação de pastagens. Disponível em: <<https://rehagro.com.br/blog/irrigacao-de-pastagens/>>

⁵ “Neozelandês com sotaque baiano”. Rev. Globo Rural Ed. 292, Fev., 2010. Disponível em: <http://revistagloborural.globo.com/EditoraGlobo/componentes/article/edg_article_print/0,3916,1708300-2869-1,00.html>

2.5. Fertirrigação de plantas forrageiras

Andrade *et al.* (2012) realizaram estudo com duas forrageiras do gênero *Cynodon* irrigadas e fertirrigadas, e relataram que as taxas de acúmulo de forragem para Tifton-85 e Vaquero foram, respectivamente, de 140,0 e 113,1 kg ha⁻¹ dia⁻¹ de MS no verão, e 122,2 e 94,9 kg ha⁻¹ dia⁻¹ de MS no outono. Os autores observaram que a taxa de acúmulo de forragem foi superior às encontradas por outros autores para o capim Tifton-85, com valores de 67,3 a 118,1 kg ha⁻¹ dia⁻¹ de MS nas estações de outono e verão, respectivamente (MARCELINO *et al.*, 2003; AGUIAR *et al.*, 2006). Os autores atribuíram tal diferença ao efeito sinérgico da irrigação e da adubação com maior dose de nitrogênio (N). Marcelino *et al.* (2003) aplicaram uma dose máxima de 360 kg ha⁻¹ de N e uma adubação potássica com dose de 100 kg ha⁻¹ de K₂O em 10 meses (equivalentes a 432 e 120 kg ha⁻¹ ano⁻¹ de N e K₂O, respectivamente), e Andrade *et al.* (2012) utilizaram doses equivalentes a 600 e 770 kg ha⁻¹ ano⁻¹ de N e K₂O, respectivamente.

Coelho e Martins (2004) apresentaram um estudo sobre fertirrigação em pastagens no Brasil e chamaram atenção para a importância de se monitorar a qualidade da água, fazer o parcelamento da adubação e controlar a lâmina d'água de irrigação para evitar problemas de lixiviação dos nutrientes móveis no solo.

Outro aspecto que os autores destacaram é a necessidade de reposição dos nutrientes extraídos, cuja quantidade é dependente do potencial produtivo das diferentes forrageiras (Tabela 7). Nota-se que, mesmo dentro de uma espécie, as cultivares apresentam variação de extração de nutrientes. Portanto, é necessário adaptar a aplicação da fertirrigação à forrageira.

Tabela 7 – Extração de nutrientes por diferentes forrageiras tropicais

Forrageiras	Macronutrientes kg Mg ⁻¹ de MS						Micronutrientes kg Mg ⁻¹ de MS					
	N	P	K	Ca	Mg	S	Zn	Fe	Cu	Mn	B	Na
Mombaça	19,7	3,1	27,2	5,3	3,3	1,3	19,25	103,25	7,00	38,50	---	192,50
Mombaça “folha larga”	19,0	3,1	25,6	5,1	3,4	1,2	21,00	110,25	5,25	56,00	---	175,00
Tanzânia	16,6	2,1	20,0	4,1	2,4	1,2	15,75	164,50	7,00	54,25	---	175,00
Braquiarião	15,3	1,7	23,2	2,8	2,1	1,0	17,50	148,75	5,25	59,50	---	52,50

Fonte: Coelho e Martins (2004).

3. MATERIAL E MÉTODOS

Neste trabalho realizou-se uma revisão de literatura sobre a irrigação de pastagens, apresentando os principais tópicos referentes às pesquisas feitas nessa área do conhecimento e discutindo-os de acordo com o conhecimento e a experiência adquirida pelo autor desta Tese.

A partir daqui foram apresentados os trabalhos de pesquisa com experimentação a campo e/ou modelagem, realizados sob a liderança e orientação do autor desta Tese, com seus orientados no Programa de Pós-Graduação em Engenharia de Sistemas Agrícolas (PPGESA – ESALQ/USP). Os trabalhos e as respectivas Dissertações e Teses foram organizados nos seguintes itens:

- a) Consumo de água e coeficientes de cultura (K_c) de forrageiras tropicais;
- b) Irrigação e adubação de forrageiras tropicais;
- c) Irrigação localizada em pastagens tropicais;
- d) Uso de gesso agrícola como estratégia de aprofundamento do sistema radicular de forrageiras tropicais; e
- e) Modelagem de crescimento e produção de plantas forrageiras.

Em cada item foram descritos os trabalhos e o atual estágio (concluído ou em andamento), bem como foram discutidos os resultados obtidos.

4. RESULTADOS E DISCUSSÃO

4.1. Pesquisas sobre irrigação de pastagens

4.1.1. Consumo de água e coeficiente de cultura (K_c) de forrageiras tropicais

Neste item é apresentado um trabalho de pesquisa baseado em experimentação a campo e modelagem agrometeorológica, em um projeto denominado “Determinação do coeficiente de cultura (K_c) de plantas forrageiras tropicais em cultivo solteiro e em condições de sobressemeadura com forrageiras de clima temperado”, realizado com financiamento da Fapesp (Processo 2012/23002-6). O projeto foi classificado como “*pesquisa básica com objetivo principal de avançar o conhecimento fundamental, mas cujos resultados têm potencial de aplicação tecnológica*”.

Os trabalhos realizados foram desenvolvidos na Área Experimental de Forragicultura Irrigada, situada na Escola Superior de Agricultura “Luiz de Queiroz” (ESALQ/USP), em Piracicaba, SP (latitude 22°42’14” S; longitude 47°37’21” O; altitude de 569 m).

O clima da região é do tipo subtropical úmido (Cwa), segundo a classificação de Köppen-Geiger, com verão quente e úmido, e inverno seco, com temperatura média inferior a 18°C no mês mais frio e superior a 22°C no mês mais quente (KOTTEK *et al.*, 2006).

Na área foram instalados um sistema de irrigação e seis lisímetros de pesagem, um por parcela experimental. Um esquema e uma foto aérea da área experimental são apresentados nas Figuras 4 e 5. Detalhes dos lisímetros instalados na área são apresentados na Figura 6.

Figura 4 – Esquema da área experimental de forragicultura irrigada, Piracicaba, SP.

Fonte: Sanches (2018)

Figura 5 – Foto aérea da área experimental de forragicultura irrigada, Piracicaba, SP.

Fonte: Sanches (2018)

Figura 6 – Esquema em corte lateral do lisímetro de pesagem instalado. Piracicaba/SP.

Fonte: Sanches (2018)

Os experimentos conduzidos nessa área geraram uma Tese e duas Dissertações, e forneceram parte do arcabouço teórico utilizado em uma Dissertação sobre estimativa de demanda hídrica de forrageiras tropicais, desenvolvidas sob orientação do autor no Programa de Pós-Graduação em Engenharia de Sistemas Agrícolas (PPGESA – LEB – ESALQ/USP).

4.1.1.1. Dissertações e teses

Neste projeto foram obtidos os coeficientes de cultura dos capins *Megathyrsus maximus* (Syn. *Panicum maximum* Jacq.) cv. Mombaça, *Cynodon* spp. (cultivar não identificado) E *Urochloa brizantha* (Syn. *Brachiaria brizantha*) cv. Marandu. Do trabalho resultaram, direta e indiretamente, três Dissertações e uma Tese no Programa de Pós-Graduação em Engenharia de Sistemas Agrícolas (PPGESA – ESALQ/USP). Esses trabalhos serão descritos a seguir.

4.1.1.1.1. Demanda hídrica máxima em pastagens tropicais brasileiras

Realizou-se um estudo de estimativa da deficiência hídrica máxima de forrageiras tropicais, para auxiliar no planejamento de sistemas de irrigação de pastagens. O estudo resultou em uma Dissertação de Mestrado (CARNEVSKIS, 2016).

Foram utilizados dados de 156 estações meteorológicas, o conceito de Zonas Agroclimáticas Homogêneas (ZAHs) (VAN WART et al., 2013) e os softwares QGIS e MS-Excel para identificar regiões com limitações climáticas ao desenvolvimento de forrageiras tropicais. Foram identificadas as localidades com déficit hídrico tolerável, mas com resposta à irrigação (faixa leste do País, da região Nordeste ao norte do Paraná) e as localidades prioritárias à irrigação (faixa do interior do Nordeste à divisa leste de MT e MS).

O método de Van Wart et al. (2013) foi utilizado por Marin (2014) para dividir o território brasileiro em 27 ZAHs, com base na soma térmica acumulada, no índice de aridez e na sazonalidade climática. Carnevskis (2016) identificou 27 municípios representativos da variação climática do Brasil e com o maior rebanho bovino em cada ZAH, definiu um valor máximo para o coeficiente de cultura ($K_c = 1,25$) a partir dos dados iniciais de Sanches (2017) e Souza (2017), e calculou o balanço hídrico de cultura para forrageiras tropicais.

Uma inovação nesse estudo foi a utilização da probabilidade de ocorrência da demanda hídrica (DH), no balanço hídrico de cultura. Geralmente esse tipo de balanço é elaborado considerando-se a DH média e os resultados têm probabilidade de ocorrência $p = 50\%$. Entretanto, no planejamento da irrigação, é aconselhável trabalhar com $p = 75\%$ ou superior, para garantir que o sistema de irrigação projetado atenda a demandas hídricas mais altas que a média, reduzindo o risco de perda de produtividade. Quanto mais alta for a rentabilidade esperada em um cultivo, maior deve ser o valor de “p” considerado no cálculo da demanda.

A demanda hídrica máxima ($DH_{m\acute{a}x}$) em cada ZAH foi calculada para as probabilidades de ocorrência (p) de 50% a 95%. Houve grandes diferenças entre as DHs com $p = 50\%$ e com os demais valores ($p = 75\%$ a 95%). A demanda hídrica (DH) variou de $0,90 \text{ mm dia}^{-1}$ ($p =$

50%) a 6,44 mm dia⁻¹ ($p = 95\%$). Os valores mínimos ($DH_{\min}$) oscilaram entre 0,90 e 3,18 mm dia⁻¹, e os máximos ($DH_{\max}$), entre 4,6 e 6,44 mm dia⁻¹ ($p = 50\%$ e $p = 95\%$, respectivamente).

Em projetos de irrigação há um consenso em utilizar a DH para $p = 75\%$. Nessa probabilidade de ocorrência, os valores de $DH_{\min}$ e $DH_{\max}$ foram 1,99 e 5,86 mm dia⁻¹, respectivamente. Os resultados obtidos nesse estudo corroboram tal consenso, pois a maior diferença entre valores de DH ocorreu ao passar de $p = 50\%$ para $p = 75\%$ (Tabela 8), com acréscimo médio, mínimo e máximo de 81%, 25% e 194%, respectivamente.

Tabela 8 – Diferenças de deficiência hídrica (DH, mm dia⁻¹) estimada em balanços hídricos de cultura devido à mudança da probabilidade de ocorrência (p, %)

Cidade	Incremento na porcentagem de ocorrência				
	50-75	75-80	80-85	85-90	90-95
Aimorés-MG	33%	4%	4%	4%	5%
Altamira-PA	102%	10%	9%	9%	7%
Cáceres-MT	66%	7%	6%	5%	5%
Campo Mourão-PR	51%	8%	10%	9%	19%
Conceição do Araguaia-PA	142%	9%	5%	4%	3%
Corumbá-MT	47%	7%	8%	6%	8%
Frutal-MG	60%	6%	5%	5%	6%
Gleba Celeste-MT	186%	7%	4%	3%	4%
Goiás-GO	134%	3%	4%	3%	4%
Guaratinga-BA	52%	7%	10%	8%	11%
Itamarandiba-MG	27%	4%	4%	4%	4%
Ivinhema-MS	49%	7%	7%	10%	11%
Lages-SC	46%	9%	10%	12%	16%
Londrina-PR	59%	9%	8%	10%	11%
Marabá-PA	152%	9%	9%	7%	5%
Montes Claros-MG	19%	2%	3%	2%	3%
Morada Nova-CE	28%	1%	1%	1%	1%
Ponta Porã-MS	51%	10%	13%	11%	12%
Resende-RJ	113%	8%	10%	9%	11%
Presidente Prudente-SP	68%	8%	9%	10%	8%
Rio Branco-AC	194%	12%	15%	12%	12%
Rio Verde-GO	105%	5%	4%	4%	8%
Santana do Livramento-RS	75%	9%	12%	13%	20%
São Felix do Xingu-PA	134%	17%	13%	10%	10%
Tucuruí-PA	109%	10%	8%	8%	7%
Uruguaiana-RS	71%	11%	10%	12%	13%
Vitoria da Conquista-BA	25%	4%	6%	5%	8%
Média	81%	7%	8%	7%	9%
Mediana	66%	8%	8%	8%	8%

Fonte: Carnevskis (2016).

Com o estudo concluiu-se que:

- a) Na maioria do território brasileiro, os decêndios com máximo déficit hídrico ocorreram entre os meses de agosto e outubro;
- b) Foi possível identificar localidades prioritárias ao investimento em irrigação de pastagens no Brasil, de acordo com a severidade da deficiência hídrica;
- c) A probabilidade de ocorrência afetará grandemente os valores de DH e consequentemente, os projetos de irrigação e a capacidade de os sistemas atenderem às necessidades das pastagens.

4.1.1.1.2. Determinação de coeficientes de cultura (Kc) de forrageiras tropicais

O projeto de pesquisa “Determinação do coeficiente de cultura (Kc) de plantas forrageiras tropicais em cultivo solteiro e em condições de sobressemeadura com forrageiras de clima temperado” abrangeu estudos para determinar o consumo de água e estimar os valores do coeficiente de cultura (Kc) de forrageiras tropicais nas fases de seus ciclos produtivos. Tais estudos resultaram em uma Dissertação e uma Tese, além de vários artigos científicos. Souza (2017) trabalhou na determinação do Kc de *Urochloa brizantha* (Syn. *Brachiaria brizantha*) cv. Marandu e Sanches (2017) determinou o Kc de *Megathyrsus maximus* (Syn. *Panicum maximum* Jacq.) cv. Mombaça e *Cynodon spp.* (cultivar não identificada).

Ambos os autores conduziram experimentos de campo em área experimental situada na ESALQ/USP, com sistema de irrigação por aspersão. Cada forrageira foi implantada em duas parcelas. Na primeira, a forrageira foi conduzida em cultivo exclusivo (solteiro) durante todo o período experimental. Na segunda parcela, o cultivo foi exclusivo no período de primavera/verão e consorciado com aveia e azevém no período de outono/inverno.

Na Figura 7 é apresentado um esquema de instalação das culturas na Área Experimental de Forragicultura Irrigada, nos experimentos de Sanches (2017) e Souza (2017). Na Figura 8 há fotos do capim Marandu nos lisímetros, no experimento de Souza (2017).

O consumo de água das forrageiras foi medido com lisímetros de pesagem (um lisímetro por parcela, duas parcelas por cultura) e testaram o uso de uma sonda capacitiva FDR (Reflectometria no Domínio da Frequência – Figura 9) para verificar a viabilidade de sua utilização na estimativa do Kc. Além disso, testaram correlações entre a produção de forragem das culturas, o consumo de água e parâmetros biométricos como o índice de área foliar (IAF) e a altura do dossel forrageiro (ADF) (Kc x IAF; Kc x ADF).

Figura 7 – Esquema de instalação dos lisímetros de pesagem na área experimental. Piracicaba/SP.
Fonte: Adaptação de Sanches (2017) e Souza (2017) (Composição de imagens).

Figura 8 – Crescimento do capim Marandu após o corte de uniformidade durante o primeiro ciclo.
Fonte: Souza (2017)

Figura 9 – Detalhe e esquema da sonda FDR Diviner®. Piracicaba/SP.

Os principais resultados obtidos na fase de formação de pastagem foram:

- a) O capim Mombaça apresentou a maior amplitude do Kc (0,5 a 1,7 – Figura 10a, d);
- b) O capim Marandu apresentou valores de Kc entre 0,8 e 1,4;
- c) Os valores médios de Kc das forrageiras estudadas foram de 0,99; 0,79 e 0,68 para os capins Marandu, *Cynodon spp.* e Mombaça, respectivamente (Figura 10);
- d) Os valores de Kc das forrageiras apresentaram incrementos similares nas três primeiras semanas, e comportamentos distintos a partir da quarta semana; e
- e) Deve-se adotar valores distintos de Kc durante a fase de crescimento das gramíneas.

Adicionalmente, concluiu-se que a sonda FDR poderia ser utilizada como alternativa de menor custo para obtenção do Kc de culturas forrageiras, mas haveria a necessidade de ajustes referentes a fluxos de água no solo (drenagem profunda em ascensão capilar), não realizados nesse experimento. Tais ajustes são muito importantes, principalmente nas estações com alternância de períodos chuvosos e estiagens (“veranicos”).

Figura 10 – Evolução do coeficiente de cultura (Kc) e da evapotranspiração de cultura (ETc). a) Mombaça. b) Marandu. c) Cynodon. d) Comparativo de Kc no período estudado.

Fonte: Sanches (2017)

4.1.1.1.3. Uso de sonda capacitiva para determinação de Kc e atividade de absorção de água de forrageiras

Tal como comentado no item 4.1.1.1.2, nos estudos apresentados por Sanches (2017) e Souza (2017) foi detectada necessidade de ajustes no balanço hídrico feito com sonda FDR (Reflectância no Domínio do Tempo), principalmente a inclusão dos fluxos de água no solo (drenagem profunda em ascensão capilar).

Por isso, foi realizado um experimento para aprofundar o conhecimento sobre o uso de sondas FDR como instrumento alternativo para determinação da umidade do solo e auxílio às estimativas do consumo de água de culturas agrícolas por meio de balanço hídrico. Esse trabalho foi denominado “Utilização de sonda capacitiva FDR para estimativa do consumo de água e coeficiente de cultura de *Urochloa brizantha* cv. Marandu em cultivo solteiro e consorciado”. Foi conduzido na Área Experimental de Forragicultura Irrigada e resultou em uma Dissertação (PRUDENTE JUNIOR, 2019).

O objetivo geral do trabalho foi verificar a possibilidade da utilização de uma sonda (FDR) como instrumento auxiliar na estimativa de consumo hídrico e de coeficientes de cultura

(Kc) do capim Marandu, em cultivo solteiro (Ms - primavera/verão) e consorciado com aveia preta + azevém (MAA) ou centeio + azevém (MCA).

Os objetivos secundários foram: (i) estimar o Kc dos dosséis forrageiros estudados; (ii) comparar os valores de Kc obtidos com a sonda FDR e com lisimetria de pesagem; (iii) verificar se a sonda FDR é capaz de identificar a atividade de absorção de água das raízes das forrageiras; e (iv) analisar parâmetros produtivos do capim Marandu solteiro e consorciado, e estimar a produtividade de água da cultura (PA, kg MS m⁻³).

Os principais resultados deste estudo foram:

- a) É possível utilizar sondas FDR para estimativas de Kc;
- b) Para obter maior precisão das estimativas é necessário fazer o balanço hídrico com estimativas de fluxos de água no solo (drenagem profunda e ascensão capilar);
- c) A atividade de absorção de água pelas raízes variou de acordo com a época do ano e com a presença das culturas hibernais.
- d) A profundidade efetiva do sistema radicular oscilou de 0,6 m no cultivo exclusivo (Ms), para 0,3 m e 0,4 m nos cultivos consorciados (MCA e MAA, respectivamente); e
- e) O consórcio Marandu + aveia + azevém (MAA) apresentou maior produtividade de água (PA_{MAA} = 2,44 kg MS m⁻³) que o consórcio Marandu + centeio + azevém (MCA) (PA_{MCA} = 1,96 kg MS m⁻³).

Conclui-se que o uso de sondas FDR amplia o potencial de determinação de valores de Kc, pois com um módulo de leitura (datalogger, cabo e sonda) é possível fazer leituras em várias parcelas, com diferentes culturas ou variedades de uma mesma cultura. Uma crítica constante sobre o trabalho com lisímetros é a ausência ou o baixo número de repetições no espaço, devido ao custo de aquisição e manutenção do equipamento.

Assim, as sondas capacitivas FDR possibilitam o aumento do número de repetições, a casualização das parcelas de medição no campo e a redução de custo em estudos de determinação de Kc de espécies ou variedades de forrageiras.

4.1.2. Irrigação e adubação

A sinergia entre irrigação e adubação é conhecida e há necessidade constante de experimentação sobre este tema. O melhoramento genético gera grande quantidade de novos cultivares e híbridos, que podem apresentar diferentes respostas à adubação em áreas irrigadas.

Embora haja estudos sobre o efeito do nitrogênio (N) em forrageiras tropicais, é necessário verificar as interações entre esse macronutriente e os micronutrientes aplicados na adubação, principalmente em sistemas de produção intensiva, cujas demandas nutricionais são maiores que em sistemas de produção extensiva. Altas doses de N podem reduzir o ciclo de crescimento e corte das forrageiras tropicais (tempo necessário para atingir o ponto de corte).

Os estudos de Sanches (2017), Souza (2017) e Prudente Jr. (2019) foram conduzidos em solo de alta fertilidade e em dose fixa de nitrogênio (900 a 1000 kg ha⁻¹), subdividida e aplicada a cada corte. Além disso, em nenhum deles foi testado o efeito de micronutrientes em forrageiras tropicais em condições de alta produtividade. Portanto, havia possibilidade, mas não a certeza de a produtividade potencial ter sido atingida. Ressalta-se que tal informação é importante em trabalhos de modelagem de crescimento e produção de forragem.

Assim, realizou-se um experimento denominado “Produção potencial de capim Mombaça irrigado e com diferentes doses de nitrogênio e boro” (JESUS, 2019). Foi implantado na Área Experimental de Forragicultura Irrigada, na ESALQ/USP, Piracicaba-SP e teve o objetivo geral de avaliar o potencial produtivo e os efeitos da aplicação de diferentes doses de nitrogênio (N) e boro (B) sobre a produção de forragem e a produtividade de água de *Megathyrsus maximus* (Syn. *Panicum maximum* Jacq.) cv. Mombaça irrigado.

Os objetivos secundários foram:

- a) Verificar se as doses de N e B afetam a produtividade da água (PA) da forrageira estudada;
- b) Identificar o melhor período de corte em cada ciclo de crescimento e cada estação, por meio de medições da altura do dossel forrageiro (ADF) e do índice de área foliar (IAF);
- c) Correlacionar o acúmulo de graus dias de desenvolvimento (GDD) com o crescimento da forrageira e verificar se há diferenças entre a correlação nas estações do ano; e
- d) Avaliar o efeito climático sazonal sobre a produção de matéria seca do capim Mombaça irrigado.

O experimento foi instalado em área com sistema de irrigação por aspersão convencional, cujo croqui é apresentado na Figura 11, mostrando as combinações entre doses de N (N₁: 250; N₂: 500; N₃: 750 e N₄: 1000 kg ha⁻¹) e de B (B₁: 0; B₂: 2 e B₃: 4 kg ha⁻¹).

Os principais resultados desse trabalho são apresentados na Tabela 9, na qual são apresentadas, a produtividade total de forragem (PTF) acumulada em 11 cortes, a produtividade de folhas (PF) e de colmos (PC), o material morto (MM), e a produtividade de água (PA), com dados discriminados por estação e por tratamento de adubação.

Figura 11 – Croqui da distribuição das doses de boro e nitrogênio nas parcelas experimentais, Piracicaba/SP, 2017.

Tabela 9 – Dados médios de produtividade total de forragem (PTF), percentagem de folhas (PF), percentagem de colmos (PC), percentagem de material morto e produtividade da água (PA) de capim Mombaça, por estação e por tratamento de adubação. Piracicaba/SP, 2017/18.

Estação	PTF (kg ha ⁻¹)	PF	PC	MM	PA
		(%)	(%)	(%)	(kg m ⁻³)
Inverno	6.159,0 C	67,8 C	23,4 A	8,8 B	1,94 B
Primavera	16.214,2 AB	89,9 B	8,2 B	1,9 A	3,49 A
Verão	18.004,3 A	91,5 AB	7,4 B	1,0 A	3,35 A
Outono	9.642,8 BC	60,8 BC	34,5 A	4,6 A	3,84 A

Fertilizantes	PTF (kg ha ⁻¹)	PF	PC	MM	PA
		(%)	(%)	(%)	(kg m ⁻³)
N ₁ B ₀	38.873,3 FG	77,1 A	19,8 A	3,1 A	2,48 A
N ₂ B ₀	48.233,0 E	80,4 A	15,8 A	3,8 A	3,07 A
N ₃ B ₀	53.988,2 CD	78,3 A	17,5 A	4,2 A	3,44 A
N ₄ B ₀	61.335,3 B	77,6 A	17,9 A	4,5 A	3,91 A
N ₁ B ₁	34.170,3 G	78,9 A	15,8 A	5,3 A	2,18 A
N ₂ B ₁	40.414,8 F	81,4 A	15,7 A	2,9 A	2,57 A
N ₃ B ₁	55.357,1 C	78,1 A	17,5 A	4,4 A	3,53 A
N ₄ B ₁	66.203,6 A	82,8 A	14,1 A	3,1 A	4,22 A
N ₁ B ₂	38.707,7 FG	72,9 A	19,5 A	7,6 A	2,47 A
N ₂ B ₂	50.415,1 DE	79,5 A	16,3 A	4,3 A	3,21 A
N ₃ B ₂	48.295,0 E	79,5 A	17,9 A	2,6 A	3,08 A
N ₄ B ₂	64.249,9 AB	82,1 A	15,1 A	2,8 A	4,09 A

Médias seguidas por letras iguais na coluna não diferem entre si estatisticamente pelo teste Tukey (p < 0,05).

Fonte: Jesus (2019)

A Tabela 10 mostra o percentual de produção total de forragem, de folhas e colmos, e do material morto a cada estação. Percebe-se uma flutuação acentuada da produção de forragem, com 68,4% no período de primavera/verão e 31,6% no período de outono/inverno. Além disso, a composição da forragem variou, com redução da percentagem de folhas no período hibernar e, conseqüentemente, com redução da qualidade nutricional (maior percentagem de colmos e material morto).

Tabela 10 – Produção total de forragem (PTF), percentuais de produção total, de folhas e colmos, e material morto, a cada estação.

Estação	PTF (kg ha ⁻¹)	PTF	PF	PC	MM
		----- (%) -----			
Inverno	6.159,0	12,3	67,8	23,4	8,8
Primavera	16.214,2	32,4	89,9	8,2	1,9
Verão	18.004,3	36,0	91,5	7,4	1,0
Outono	9.642,8	19,3	60,8	34,5	4,6
Total	50.020,3	---	---	---	---

Fonte: Adaptado de Jesus (2019).

As principais conclusões do estudo foram:

- A produtividade total de forragem (PTF) do capim Mombaça oscilou entre 34,2 e 66,2 Mg ha⁻¹ e os maiores valores foram obtidos na maior dose de N (1000 kg ha⁻¹);
- As doses de N aumentaram a PTF e a PA do capim Mombaça até a maior dose, exceto no tratamento N3B2 (750 kg ha⁻¹ de N; 4 kg ha⁻¹ de B);
- A PTF do capim Mombaça apresentou flutuação ao longo do ano e foi menor no período de hibernar (outono/inverno) do que no período estival (primavera/verão);
- As percentagens de colmos (PC) e de material morto (MM) foram maiores no período de outono/inverno, indicando queda da qualidade da forragem;
- O menor valor de produtividade de água ocorreu no inverno (PA = 1,94 kg), variando entre 51% e 58% da PA obtida nas demais estações;
- Os valores de PTF apresentaram interação entre doses de N e de B, variando de 39,1 a 61,3 Mg ha⁻¹ sem B (+57%), de 34,2 a 66,2 Mg ha⁻¹ na dose B₁ = 2 kg ha⁻¹ de B (+94%), e de 38,7 a 64,2 Mg ha⁻¹ na dose B₂ = 4 kg ha⁻¹ de B (+66%); e
- Os acréscimos de PTF com a adubação nitrogenada foram maiores na presença da adubação boratada, e o melhor resultado foi obtido na dose 2 kg ha⁻¹ de B.

A máxima PTF obtida ($66,2 \text{ Mg ha}^{-1}$) foi 11,6% superior à obtida por Sanches (2017) com a mesma forrageira ($59,3 \text{ Mg ha}^{-1}$), mostrando que não tinha sido atingida a produtividade potencial do capim Mombaça nas condições climáticas locais.

Diante dos resultados obtidos nas condições locais do experimento, pode-se inferir que a produtividade de forragem da cultura provavelmente responderá a doses de N além da máxima utilizada nesse experimento, e que o aumento de produtividade obtido com a adubação nitrogenada em solos de alta fertilidade está associado ao incremento da adubação com boro.

Pela queda acentuada das produtividades de forragem (PTF) e de água (PA) no inverno, também se pode inferir que a sobressemeadura de forrageiras de inverno pode contribuir para o aumento de ambas as produtividades e justificar o uso da irrigação nessa estação.

Além dos aspectos já mencionados, nesse trabalho ressaltou-se a importância de definir o momento adequado de entrada do rebanho nos piquetes, em sistemas de pastejo rotacionado. Por isso, realizou uma análise adicional de seus dados para correlacionar a soma térmica em graus-dia de desenvolvimento (GDD) com a altura do dossel forrageiro (ADF) e com o índice de área foliar (IAF) de *Megathyrsus maximus* (Syn. *Panicum maximum*) cv. Mombaça.

Tanto a ADF quanto o IAF são parâmetros utilizados na definição do momento ideal de pastejo, que coincide com o momento em que interceptação luminosa pelo dossel forrageiro atinge 95% da radiação incidente ($IL = 95\%$) (SILVA e CORSI, 2003).

Os resultados obtidos mostram que os valores acumulados a cada ciclo até o dossel forrageiro atingir $IL = 95\%$ foram bem próximos de 290 GDD (289,9 e 291,1 GDD para outono/inverno e primavera/verão, respectivamente).

Assim, foram obtidas equações para estimativa de ADF e IAF a partir de valores de GDD, até o limite de 290 GDD, considerado o ponto ideal para entrada dos animais em pastejo (Figura 12). Na mesma figura são apresentadas equações para estimativa de ADF e IAF a partir do número de dias do ciclo de crescimento (NDC).

A associação de tais equações a séries históricas de dados de temperatura permite estimar o intervalo ideal de pastejo, em qualquer estação e em cada localidade.

Figura 12 – Equações de regressão para estimativa de altura do dossel forrageiro (ADF, cm) e Índice de Área Foliar (IAF, m² m⁻²) em função da soma térmica (GDD): a) Outono/inverno, b) Primavera/Verão; e em função do Número de Dias do Ciclo (NDC): c) outono/inverno e d) primavera/verão. Piracicaba/SP, Brasil, 2017/2018.

Fonte: Jesus (2019)

4.1.3. Irrigação localizada em pastagens tropicais

O gotejamento subsuperficial (*subsurface drip irrigation* – SDI) tem ganhado espaço, principalmente em culturas perenes. Recentemente houve grande expansão de sistemas SDI na cultura da cana de açúcar, na qual são reportados incrementos de produtividade.

A conjuntura brasileira atual indica que parte das áreas de pastagens estão sendo substituídas por várias culturas (soja, milho, algodão, cana etc.), devido à baixa produtividade dos sistemas de produção animal a pasto (lotação animal média próxima a 1 UA ha⁻¹). Tal conjuntura leva à necessidade de intensificação da produção animal para manter sua viabilidade econômica. A busca por alternativas na produção animal a pasto levou à irrigação de pastagens, inicialmente com sistemas por aspersão. O crescimento das áreas de pastagens irrigadas levou indústrias e produtores a cogitarem o uso de sistemas de gotejamento subsuperficial em pastagens. Entretanto, há várias incertezas sobre sua utilização nessas culturas, principalmente sobre espaçamentos mais adequados e viabilidade econômica.

Assim, foi elaborado um trabalho de pesquisa denominado “Irrigação por gotejamento subsuperficial no cultivo de *Megathyrsus maximus* (Syn. *Panicum maximum* Jacq.) cv.

Mombaça”, conduzido na Área Experimental de Forragicultura Irrigada, pela doutoranda Danielle Morais Amorim (orientada pelo autor desta tese), cujos objetivos são:

Geral: avaliar as respostas biométricas e produtivas de *Megathyrsus maximus* (Syn. *Panicum maximum*) cv. Mombaça irrigado por gotejamento subsuperficial utilizando diferentes espaçamentos entre linhas laterais do sistema de irrigação.

Específicos:

- a) Estimar a produtividade de matéria seca da parte aérea da cultura (MSPA);
- b) Medir ou determinar a relação folha/colmo (RFC), altura do dossel (AD) e o índice de área foliar (IAF) da cultura;
- c) Obter a massa de matéria seca radicular (MSR);
- d) Obter a taxa de expansão foliar (TEF) da cultura;
- e) Obter a produtividade da água (PA) da cultura.

O trabalho fundamenta-se na hipótese de que há ao menos um espaçamento entre linhas de gotejadores que resulta em desenvolvimento adequado da cultura e permite o uso de sistemas de gotejamento superficial em pastagens, ao menos sob o aspecto técnico.

Futuramente devem ser conduzidos estudos de viabilidade econômica do uso de tal sistema em pastagens, como alternativa aos sistemas de aspersão. É necessário verificar se o custo de aquisição mais elevado é compensado pela redução do custo operacional (energia e mão de obra) e pelo aumento da área irrigada devido à economia de água.

O trabalho vem sendo conduzido desde janeiro de 2018 e tem conclusão prevista para janeiro de 2021.

4.1.4. Uso do gesso agrícola como estratégia de aprofundamento do sistema radicular

Apesar do grande potencial da irrigação em promover incrementos de produtividade de forragem, e do potencial brasileiro de ampliação da área irrigada, a maioria da área de pastagens não utiliza ou utilizará irrigação. Por isso, é necessário pensar em estratégias alternativas para mitigação dos problemas decorrentes do estresse por déficit hídrico.

O gesso agrícola é uma fonte de cálcio e enxofre, e sua aplicação é uma alternativa para reduzir a concentração de alumínio no solo. Funciona como condicionador de solo e é recomendado para espécies exigentes em cálcio e enxofre (COMAS *et al.*, 2015).

O gesso agrícola também induz o aprofundamento de raízes, que pode reduzir o estresse por déficit hídrico em pastagens e contribuir para aumentar a produção de forragem em períodos de seca ou durante veranicos. Por outro lado, o gesso provoca o carreamento de nutrientes (Ex.: potássio) para camadas mais profundas do solo, o que pode intensificar a lixiviação deles e reduzir a produtividade das culturas.

Dada a importância do tema, foi implantado um experimento denominado “Avaliação da produtividade do capim Mombaça em diferentes dosagens de gesso agrícola”, conduzido pelo mestrando David de Almeida Pereira, cuja justificativa é a dúvida sobre a dose mais adequada à redução do estresse por déficit hídrico.

Os objetivos do estudo são:

Geral: Avaliar os efeitos da aplicação de diferentes doses de gesso agrícola sobre a distribuição do sistema radicular e a produção de forragem de capim-mombaça.

Específicos:

De acordo com as doses de gesso agrícola aplicadas, pretende-se:

- a) Determinar a distribuição do sistema radicular da cultura estudada nas camadas do solo;
- b) Determinar a produtividade de matéria seca da parte aérea da forrageira;
- c) Identificar relações entre produtividade de matéria seca da parte aérea e densidade de raízes da forrageira;
- d) Avaliar possíveis diferenças de qualidade e produtividade da forrageira, de acordo com a época do ano.

As doses aplicadas são iguais ou superiores às da recomendação mais comuns, baseada no teor de argila do solo, para verificar o efeito da redução de déficit hídrico de modo amplo.

A expectativa com esse estudo é que a aplicação de gesso no solo contribua efetivamente para o aprofundamento e a melhor distribuição de raízes no solo nas camadas mais profundas (60-100cm) e, como consequência, que haja aumento de produtividade do capim Mombaça.

O trabalho vem sendo conduzido desde janeiro de 2019 e tem conclusão prevista para o primeiro semestre de 2021.

4.1.5. Modelagem de crescimento e produção de plantas forrageiras

Os modelos matemáticos aplicados à produção agropecuária possibilitam simular o potencial produtivo e auxiliam a compreender seu comportamento e as limitações de produtividade em várias situações. Aplicados à produção de forragem, por exemplo, os modelos permitem avaliar o potencial produtivo das pastagens e simular o efeito de modificações no sistema de produção, tais como a disponibilidade hídrica e a fertilidade do solo.

A modelagem de sistemas agrícolas envolve parametrização, calibração e validação.

Na parametrização realiza-se experimentos para obter dados e utilizá-los para o ajuste de relações e/ou de equações matemáticas que descrevem o comportamento das variáveis presentes no modelo (Sands & Landsberg, 2002)

Na calibração deve-se utilizar o modelo para gerar dados estimados e compará-los aos dados observados, geralmente obtidos em trabalhos de campo, para a área e a condição de interesse (Sands & Landsberg, 2002; Landsberg et al., 2002). Borges (2009) afirma que essa comparação testa a capacidade do modelo em simular flutuações das variáveis em curto prazo e em produzir estimativas corretas. Na calibração pode-se alterar valores de parâmetros ou variáveis não medidas na execução dos trabalhos de campo para reduzir desvios entre valores estimados e observados, a fim de aumentar a exatidão e a precisão do modelo.

Na validação, as estimativas feitas com o modelo parametrizado e calibrado são comparadas com dados independentes (não utilizados na calibração) para avaliar a confiabilidade e a capacidade de extrapolação do modelo (BORGES, 2009).

Diante da necessidade de desenvolvimento de modelos de crescimento e produção de forragem de plantas forrageiras tropicais e hibernais em diferentes ambientes, elaborou-se um projeto de pesquisa denominado “Parametrização de modelo de simulação para produtividade e uso da água de plantas forrageiras”. O trabalho vem sendo executado pela doutoranda Débora Pantojo de Souza, sob orientação do autor desta Tese e co-orientação do Dr. José Ricardo Macedo Pezzopane (Embrapa Pecuária Sudeste).

Os objetivos são:

Geral: calibração de modelos de simulação para duas forrageiras de inverno, aveia preta (*Avena strigosa*) cv. IAPAR 61 e azevém anual (*Lolium multiflorum*) cv. BRS Ponteio, e a parametrização de um modelo para o *Urochloa brizantha* (Syn. *Brachiaria brizantha*) cv. Marandu, utilizando a plataforma APSIM.

- a) Secundário: geração de modelos válidos para simulação de produtividade das culturas e para acompanhamento de uso de água das diferentes culturas.

Com este trabalho espera-se obter respostas sobre o potencial produtivo das forrageiras de inverno e da forrageira tropical e, posteriormente, avaliar as perdas de potencial produtivo (*yield gaps*) e identificar suas causas.

Além disso, espera-se que tais modelos possam ser a base para um estudo de modelagem de sistemas de cultivo consorciados dessas forrageiras, tal como no sistema de sobressemeadura de forrageiras de inverno em pastagens tropicais.

O trabalho vem sendo conduzido desde dezembro de 2017 e tem conclusão prevista para o segundo semestre de 2020.

5. CONSIDERAÇÕES FINAIS

Atualmente há vários pesquisadores envolvidos e bons artigos sobre a irrigação de pastagens, em várias partes do Brasil e em outros países, e o foco das pesquisas foi ampliado.

Nas pesquisas sobre o tema, os objetivos passaram da tentativa de eliminação da estacionalidade de produção de forragem para sua mitigação em estações frias e secas, no potencial de redução do período de estacionalidade nas estações quentes e úmidas, e no aumento da produtividade de forragem, tanto nas localidades de clima semiárido, como nas de clima úmido e com alta frequência de estiagens curtas (veranicos).

A reunião de informações de experimentos sobre forrageiras tropicais irrigadas permite sua utilização em modelos matemáticos computacionais, tais como os disponíveis nas plataformas DSSAT e APSIM. Tais modelos necessitam de estudos sobre produtividade potencial (sem limitação por déficit hídrico e fertilidade) para parametrização e calibração, bem como de estudos de produtividade atingível com diferentes níveis de fertilidade e disponibilidade hídrica. Os dados de tais experimentos permitem fazer simulações de produtividade das forrageiras tropicais nos diferentes ambientes (solo, clima, fertilidade e disponibilidade hídrica) e contribuem para o direcionamento mais adequado de recursos financeiros, definindo as localidades em que a irrigação surte maior efeito.

Juntamente com os resultados da modelagem de produção, deve-se modelar modelos econômicos para avaliar a viabilidade da irrigação, utilizando séries históricas de preços de insumos (fertilizantes e corretivos, sementes etc.) e produtos (carne, leite, lã, bezerro, boi magro, boi gordo etc.). Assim pode-se verificar as localidades em que a irrigação é economicamente viável e o risco de falha associado à sua utilização.

Adicionalmente, deve-se utilizar dados de vazão e disponibilidade hídrica presente e futura em cada bacia hidrográfica para avaliar riscos de conflito por uso de água e definir as localidades com maior potencial para implantação de projetos de irrigação.

Novos focos de estudo incluem:

- a) Utilização de sistemas de irrigação localizada, principalmente o gotejamento subterrâneo, com expectativa de redução do consumo de água por área, com aumentos da área irrigada e da produtividade da água;
- b) Utilidades adicionais dos sistemas de irrigação, tais como a fertirrigação, quimirrigação e bioirrigação (aplicação de produtos químicos e/ou biológicos via irrigação), estrutura de sombreamento e bebedouros para o gado (pivô central);

- c) O desenvolvimento de sensores nos equipamentos e sistemas de automação para a irrigação de precisão;
- d) Irrigação utilizada em sistemas de integração lavoura-pecuária.

Os trabalhos realizados e liderados pelo autor desta tese contemplam vários temas referentes às necessidades de pesquisa nas áreas de consumo de água e demanda de irrigação, redução de estresse por déficit hídrico, adubação e potencial produtivo e modelagem de produção de forragem. Futuramente, pretende-se investir tempo na investigação da automação de sistemas, na irrigação de precisão e na integração lavoura-pecuária.

6. CONCLUSÕES

No primeiro momento dos estudos brasileiros sobre irrigação de pastagens tropicais, o foco foi a eliminação da estacionalidade de produção de forragem.

No segundo momento, os estudos focaram a mitigação da estacionalidade, nas estações frias e secas, a redução de duração da estacionalidade nas estações quentes e úmidas, e o aumento da produtividade de forragem, em regiões de clima úmido ou semiárido.

No terceiro momento, os estudos têm novos focos que incluem a sistemas de gotejamento subterrâneo, irrigação de precisão, utilidades adicionais dos sistemas de irrigação em pastagens e modelagem matemática aplicada à produção e à viabilidade econômica da irrigação.

Os trabalhos realizados pelo autor desta tese abrangem alguns desses temas e pretende-se ampliar os focos de estudo para os demais, ainda não abordados.

7. REFERÊNCIAS

- AGUIAR, A. P. A.; DRUMOND, L. C. D.; MORAES NETO, A. R.; PAIXÃO, J. B.; RESENDE, J. R.; BORGES, L. F. C.; MELO JUNIOR, L. A.; SILVA, V. F.; APONTE, J. E. E. Composição química e taxa de acúmulo dos capins Mombaça, Tanzânia-1 (*Panicum maximum* Jacq. cv. Mombaça e Tanzânia-1) e Tifton 85 (*Cynodon dactylon* x *Cynodon nlemfuensis* cv. Tifton 68) em pastagens intensivas. FAZU em Revista, n.3, p.15-19, 2006.
- ALENCAR, C. A. B. D.; CUNHA, F. F. D.; MARTINS, C. E.; CÓSER, A. C.; ROCHA, W. S. D. D.; ARAÚJO, R. A. S. Irrigação de pastagem: atualidade e recomendações para uso e manejo. **Revista Brasileira de Zootecnia**, v.38, p. 98-108, 2009.
- ALENCAR, C. A. B.; CÓSER, A. C.; MARTINS, C. E.; OLIVEIRA, R. A.; CUNHA, F. F.; FIGUEIREDO, J. L. A. Altura de capins e cobertura do solo sob adubação nitrogenada, irrigação e pastejo nas estações do ano. **Acta Scientiarum. Agronomy**, v. 32, n. 1, p. 21-27, 2010a.
- ALENCAR, C. A. B.; OLIVEIRA, R. A.; CÓSER, A. C.; MARTINS, C. E.; FIGUEIREDO, J. L. A.; CUNHA, F. F.; CECON, P. R.; LEAL, B. G. Produção de seis capins manejados por pastejo sob efeito de diferentes doses nitrogenadas e estações anuais. **Revista Brasileira de Saúde e Produção Animal**, v. 11, n. 1, p. 48-58, 2010b.
- ALLEN, R. G.; PEREIRA, L. S.; RAES, D.; SMITH, M. **Crop evapotranspiration - Guidelines for computing crop water requirements-FAO Irrigation and drainage paper 56**. Rome: FAO, v. 300, n. 9, 1998.
- ALVIM, M. J.; BOTREL, M. A.; MARTINS, C. E.; CÓSER, A. C.; FREITAS, V. P. Efeito da época de plantio e da frequência de irrigação em aveia sobre a produção de matéria seca e teor de proteína bruta. **Revista Brasileira de Zootecnia**, v. 23, n. 1, p.47-56, 1994.
- ALVIM, M. J.; XAVIER, D. F.; VERNEQUE, R. D. S.; BOTREL, M. D. A. Resposta do Tifton 68 a doses de nitrogênio e a intervalos de cortes. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v. 35, n. 9, p. 1875-1882, 2000.
- ANDRADE, A. S.; DRUMOND, L. C. D.; APPELT, M. F.; MOREIRA, D. D.; Araújo, F. C.; GOD, P. I. V. G. Crescimento e composição bromatológica de Tifton 85 e Vaquero em pastagens fertirrigadas. **Global Science and Technology**, v. 5, n. 2, 2012.
- BARBOSA, R. A.; NASCIMENTO, J. R. D.; EUCLIDES, V. P. B.; SILVA, S. C. da; ZIMMER, A. H.; TORRES JR., R. A. A. Capim-tanzânia submetido a combinações entre intensidade e frequência de pastejo. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v. 42, n. 3, p. 329-340, 2007.
- BARBOSA R. A.; ROSA P. R.; SANTOS V. A. C.; BASTOS J. A.; TRINDADE D. E. S. Acúmulo de forragem do capim-milênio sob regimes de corte. In: REUNIÃO ANUAL DA SOCIEDADE BRASILEIRA DE ZOOTECNIA, 46, Maringá, 2009. **Anais...** Viçosa: SBZ, 2009. Disponível em: <www.sbz.org.br>. Acesso em: 05/04/2019.
- BARBOSA, R. A.; ROSA, P. R.; LIMA, G. O. Capim-massai manejado em diferentes combinações de intensidade e frequência de corte. In: REUNIÃO ANUAL DA SOCIEDADE BRASILEIRA DE ZOOTECNIA, 47, Salvador, 2010. **Anais...** Viçosa: SBZ, 2010. Disponível em: <www.sbz.org.br>. Acesso em: 05/04/2019

BERTOLETE, L. E. M. Sobressemeadura de forrageiras de clima temperado em pastagens tropicais. 2009. 84 p. Dissertação (Mestrado) - Universidade Estadual Paulista, Faculdade de Medicina Veterinária e Zootecnia de Botucatu, 2009. Disponível em: <<http://hdl.handle.net/11449/104139>>.

BORGES, J. S. Parametrização, calibração e validação do modelo 3-PG para eucalipto na região do cerrado de Minas Gerais. Viçosa: UFV, 2009. 77 p. Dissertação (Mestrado – Curso de Pós-Graduação em Solos e Nutrição de Plantas, UFV). Disponível em: <<https://www.ipef.br/servicos/teses/arquivos/borges.js.pdf>>. Acesso em 23/03/ 2020.

BUENO, M. R.; TEODORO, R. E. F.; ALVARENGA, C. B.; GONÇALVES, M. V. Determinação do coeficiente de cultura para o capim Tanzânia. **Bioscience Journal**, v. 25, n. 5, 2009.

CAMARGO, A. C.; NOVAES, N. J.; NOVO, A. L. M.; MENDONÇA, F. C.; MANZANO, A.; ESTEVES, S. N.; PAGANI NETO, C.; QUINAGLIA NETO, P.; DIAS, A. T. F. F.; SANTOS JUNIOR, H. A.; RIBEIRO, W. M.; FARIA, V. P. Projeto Balde Cheio: Transferência de tecnologia na produção leiteira - Estudo de caso do sítio Boa Vista, de Elisiário, SP. São Carlos: Embrapa Pecuária Sudeste, 2006a. 8p. (Embrapa Pecuária Sudeste, Comunicado Técnico 71).

CAMARGO, A. C.; NOVAES, N. J.; NOVO, A. L. M.; MENDONÇA, F. C.; MANZANO, A.; ESTEVES, S. N.; STIVARI, A.; MORICHITA, O.; KATAYAMA, L.; RIBEIRO, W. M.; FARIA, V. P. Projeto Balde Cheio: Transferência de tecnologia na produção leiteira - Estudo de caso da chácara São Francisco, de Flórida Paulista, SP. São Carlos: Embrapa Pecuária Sudeste, 2006b. 8p. (Embrapa Pecuária Sudeste, Comunicado Técnico 72).

CAMARGO, A. C.; NOVAES, N. J.; NOVO, A. L. M.; MENDONÇA, F. C.; MANZANO, A.; ESTEVES, S. N.; STIVARI, A.; NISHIDA, A. T.; KAKIDA, Y.; SENA, M. S.; SINICIATO, J. A. B.; SANTOS, F. L.; FERNANDES, J. E. S.; UMEHARA, E.; RIBEIRO, W. M.; FARIA, V. P. Projeto Balde Cheio: Transferência de tecnologia na produção leiteira - Estudo de caso do sítio São Carlos, de Irapuru, SP. São Carlos: Embrapa Pecuária Sudeste, 2006c. 8p. (Embrapa Pecuária Sudeste, Comunicado Técnico 73).

CAMARGO, A. C.; NOVAES, N. J.; NOVO, A. L. M.; MENDONÇA, F. C.; MANZANO, A.; ESTEVES, S. N.; FAVARETO, M. R. M.; MARQUES, W.; TOSCANO, J. F.; SANCHES, I. C.; RIBEIRO, W. M.; FARIA, V. P. Projeto Balde Cheio: Transferência de tecnologia na produção leiteira - Estudo de caso do sítio São José, de Nhandeara, SP. São Carlos: Embrapa Pecuária Sudeste, 2006d. 8p. (Embrapa Pecuária Sudeste, Comunicado Técnico 74).

CAMARGO, A. C.; NOVAES, N. J.; NOVO, A. L. M.; MENDONÇA, F. C.; MANZANO, A.; ESTEVES, S. N.; STIVARI, A.; VICENTE, J. M.; SEGUNDO, M. A. F.; ROSSETTI, R. C.; RIBEIRO, W. M.; FARIA, V. P. Projeto Balde Cheio: Transferência de tecnologia na produção leiteira - Estudo de caso do sítio São João, de Monte Castelo, SP. São Carlos: Embrapa Pecuária Sudeste, 2006e. 8p. (Embrapa Pecuária Sudeste, Comunicado Técnico 75).

CARNEVALLI R. A.; SILVA S. C.; BUENO A. A. O.; UEBELE M. C.; HODGSON J.; SILVA G. N.; MORAIS J. P. G. Herbage production and grazing losses in *Panicum maximum* cv. 'Mombaça' under four grazing managements. **Tropical Grasslands**, v. 40, p. 165-176, 2006.

CARNEVSKIS, E. L. **Determinação de eventos de deficiência hídrica máxima com fins de implantação de sistemas de irrigação em pastagens tropicais**. 2016. Dissertação (Mestrado em Engenharia de Sistemas Agrícolas) - Escola Superior de Agricultura Luiz de Queiroz, Universidade de São Paulo, Piracicaba, 2016. doi:10.11606/D.11.2016.tde-30112016-164446. Acesso em: 2019-12-10.

CARVALHO, P. C. D. F.; SANTOS, D. D.; GONÇALVES, E. N.; MORAES, A. D.; NABINGER, C. Forrageiras de clima temperado. In: FONSECA, D. M.; MARTUSCELLO, J. A. (Eds.). **Plantas forrageiras**. Viçosa, MG: UFV, 2010. p. 494-53.

CARVALHO, S. R.; SILVA, A. T.; COSTA, F. A.; Souto, S. M.; Lucas, E. D. de. Influência da irrigação e da adubação em dois cultivares de capim elefante (*Pennisetum purpureum*). **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, v. 10, n. 4, p. 23-30, 1975.

CAVALCANTE, A. C. R. Produção de leite de cabra em pastagem de Capim Tanzânia: avaliação de alternativas de manejo para produção sustentável em pasto cultivado. 2010. Tese (Doutorado em Ciência Animal e Pastagens) - Escola Superior de Agricultura Luiz de Queiroz, Universidade de São Paulo, Piracicaba, 2010. doi:10.11606/T.11.2010.tde-17092010-150921. Acesso em: 09/09/2019.

CEDEÑO, J. A. G.; ROCHA, G. P.; PINTO, J. C.; MUNIZ, J. A.; GOMIDE, E. M. Efeito da idade de corte na performance de três forrageiras do gênero *Cynodon*. **Ciência e Agrotecnologia**, v. 27, n. 2, p. 462-470, 2003.

COELHO, A. M.; MARTINS, C. E. Estado da arte da fertirrigação em pastagens no Brasil. In: SIMPÓSIO SOBRE MANEJO DA PASTAGEM, 21, 2004, Piracicaba. **Fertilidade do solo para pastagens produtivas: anais**. Piracicaba: FEALQ, 2004. p. 401-424., 2004.

COMAS, C.C.; LOBATO, B.; GALINARI, G.; ZAMBUDIO, S.; BORGES, S.Z. Integração com lavoura quintuplica lotação animal após recuperar pastos. Gestão ambiental e territorial ILPF. Notícias. Embrapa Agropecuária Oeste. 19 maio 2015. Disponível em: <https://www.embrapa.br/busca-de-noticias/-/noticia/3183569/integracao-com-lavoura-quintuplica-lotacao-animal-apos-recuperar-pastos>. Acesso em: 12 mar. 2020.

COSTA, C.; MONTEIRO, A. L. G.; OLIVEIRA, P. S. R.; ALMEIDA JUNIOR, G. A. Correção do solo e estabelecimento da pastagem. In: SIMPÓSIO SOBRE MANEJO DA PASTAGEM, 18, Piracicaba, 2001. **Anais...** Piracicaba: FEALQ, 2001. p. 87-127.

CUNHA, F. F. Irrigação de *Panicum maximum* Jacq. cv. Tanzânia em ambiente protegido. Viçosa: UFV, 2005. 87 p. Dissertação (Mestrado – Curso de Pós-Graduação em Engenharia Agrícola, UFV). Disponível em: <https://www.locus.ufv.br/bitstream/handle/123456789/9750/teto%20completo.pdf?sequence=1>. Acesso em: 15/08/2019.

CUNHA, F. F.; SOARES, A. A.; MANTOVANI, E. C.; SEDIYAMA, G. C.; PEREIRA, O. G.; ABREU, F. V. S. Produtividade do capim tanzânia em diferentes níveis e frequências de irrigação. **Acta Scientiarum, Agronomy**, Maringá, v. 30, n. 1, p. 103-108, 2008. Disponível em: <http://dx.doi.org/10.4025/actasciagron.v30i1.1140>.

DUQUE, A. D.; CARVALHO, S. R.; ALMEIDA, J. C. D. C.; CAMARGO FILHO, S. T. Influência do intervalo de corte sobre a produção de matéria seca e o teor de nitrogênio em gramíneas dos gêneros *Cynodon* e *Digitaria*1. **Revista de Ciências da Vida**, v. 23, n. 2, p. 19-26, 2013.

EUCLIDES, V. P. B.; MONTAGNER, D. B.; BARBOSA, R. A.; NANTES, N. N. Manejo do pastejo de cultivares de *Brachiaria brizantha* (Hochst) Stapf e de *Panicum maximum* Jacq **Rev. Ceres**, Viçosa, v. 61, Suplemento, p. 808-818, nov./dez., 2014.

FARIA, V. P.; CORSI, M. **Atualização em produção de forragem**. Piracicaba: FEALQ, 1986. 76 p.

FONTANELI, R. S.; FONTANELI, R. S.; SANTOS, H. P.; MARIANI, F.M.; PIVOTTO, A. C.; SIGNOR, L. R.; ZANELLA, D. Gramíneas forrageiras perenes de verão. In: SERENA, R.; SANTOS, H. P.; SERENA, R. (Ed.) **Forrageiras para Integração lavoura-pecuária-floresta na Região Sul-brasileira**. Brasília: Embrapa, 2012a. p. 247-295.

FONTANELI, R. S.; SANTOS, H. P.; FONTANELI, R. S.; OLIVEIRA, J. T.; LEHMEN, R. I.; DREON, G. Gramíneas forrageiras anuais de inverno. In: FONTANELI, R. S.; SANTOS, H. P.; FONTANELI, R. S. (Ed.) **Forrageiras para Integração lavoura-pecuária-floresta na Região Sul-brasileira**. Brasília: Embrapa, 2012b. p. 127-172.

FONTANELI, R. S.; MEINERZ, G. R.; SANTOS, H. P.; BIAZUS, V.; FAVERO, D.; REBECHI, I. D. A. A contribuição das forrageiras de inverno para a pecuária de leite. In: VILELA, D.; FERREIRA, R. P.; FERNANDES, E. N.; JUNTOLLI, F. V. (Ed.). **Pecuária de leite no Brasil: cenários e avanços tecnológicos**. Brasília: Embrapa, 2016. p. 239-253. Disponível em: < <https://ainfo.cnptia.embrapa.br/digital/bitstream/item/164236/1/Pecuarria-de-leite-no-Brasil.pdf#page=148>>. Acesso em 02/10/2019.

GERDES, L.; MATTOS, H. B.; WERNER, J. C.; COLOZZA, M. T.; SANTOS, L. E.; CUNHA, E. A.; BUENO, M. S.; POSSENTI, R. A.; SCHAMMASS, E. A. Características do dossel forrageiro e acúmulo de forragem em pastagem irrigada de capim-aruaa exclusivo ou sobressemeado com uma mistura de espécies forrageiras de inverno. **Rev. Bras. de Zootecnia**, v.34, n.4, p.1088-1097, 2005.

GHELFI FILHO, H. Efeito da irrigação sobre a produtividade do capim elefante (*Pennisetum purpureum* Schum.) variedade Napier. Piracicaba, 1972. 77 p. Tese (Doutorado em Irrigação e Drenagem) - Curso de Pós-graduação em Agronomia, Escola Superior de Agricultura “Luiz de Queiroz”, Universidade de São Paulo.

GHELFI FILHO, H. Efeito da irrigação sobre o capim Colômbio (*Panicum maximum*). **Revista O Solo**, v. 68, p. 12-16, 1978.

GIACOMINI A. A.; SILVA S. C.; SARMENTO D. O. L.; ZEFERINO C. V.; SOUZA JUNIOR, S. J.; TRINDADE J. K.; GUARDA V. A.; NASCIMENTO JUNIOR, D. Growth of marandu palisadegrass subjected to strategies of intermittent stocking. **Scientia Agricola**, v. 66, p. 733-741, 2009.

GOMES, L. L. Características agrônômicas e desempenho de vacas em lactação em pastagem de grama estrela africana sob doses de nitrogênio. 2015. Dissertação de Mestrado. Universidade Federal do Espírito Santo.

GOMES, E. P.; RICKLI, M. E.; CECATO, U.; FARHATE, C. V. V.; GOES, R. H. D. T.; OLIVEIRA, E. D. Produtividade de pastagem de capim Tifton 85 irrigada e sobressemeada com forrageiras de inverno. **Acta Scientiarum. Animal Sciences**, v. 37, n. 2, p. 123-128, 2015.

HAHN, L.; MÜHL, F. R.; FELDMANN, N. A.; WERLANG, L.; HENNECKA, J. Gramíneas forrageiras anuais de inverno em cultivo estreme e em sobressemeadura em Tifton 85. **Enciclopédia Biosfera**, v. 11, n. 21, p. 1159-1169, 2015.

INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA. Censo agropecuário – 2017. Rio de Janeiro, 2017 (On-line). Disponível em: <<https://www.ibge.gov.br/estatisticas/economicas/agricultura-e-pecuaria/9827-censo-agropecuario.html?=&t=o-que-e>>. Acesso em 20/07/2019.

JESUS, F. L. F. de. Produção potencial de capim Mombaça irrigado e com diferentes doses de nitrogênio e boro. Tese (Doutorado em Engenharia de Sistemas Agrícolas) – Escola Superior de Agricultura “Luiz de Queiroz”, Universidade de São Paulo, Piracicaba, 2019.

LADEIRA, N. P.; SYKES, D. J.; DAKER, A.; GOMIDE, J. A. Estudos sobre produção e irrigação dos capins pangola, sempre-verde e gordura, durante o ano de 1965. **Revista Ceres**, Viçosa, v. 12, n. 74, p. 105-116, 1966.

LANDSBERG, J. J.; WARING, R. H.; COOPS, N. C. Performance of the forest productivity model 3-PG applied to a wide range of forest types. **Forest Ecology and Management**, v. 172, n. 2-3, p. 199-214, 2002.

LINO, D. M. Produtividade e métodos de sobressemeadura de aveia preta em pastagem irrigada de Tifton-85 sob pastejo de ovinos no cerrado. Dissertação (Mestrado) - Universidade Estadual Paulista, Faculdade de Engenharia de Ilha Solteira, 2018. Disponível em: <<http://hdl.handle.net/11449/153784>>.

LOURENÇO, L. F.; COELHO, R. D.; SORIA, L. G. T.; PINHEIRO, V. D.; CORSI, M. Coeficiente de cultura (Kc) do capim Tanzânia (*Panicum maximum* Jacq.) irrigado por pivô central. In: REUNIÃO ANUAL DA SOCIEDADE BRASILEIRA DE ZOOTECNIA, 38, Piracicaba, 2001. **A produção animal na visão dos brasileiros: Anais**. Piracicaba: SBZ, 2001. P.1013-1017.

MARCELINO, K. R. A.; VILELA, L.; LEITE, G. G.; GUERRA, A. F.; DIOGO, J. D. S. Manejo da adubação nitrogenada de tensões hídricas sobre a produção de matéria seca e índice de área foliar de Tifton 85 cultivado no Cerrado. **Revista Brasileira de Zootecnia**, v. 32, n. 2, p. 268-275, 2003.

MARIN, F. R. **Eficiência de produção da cana-de-açúcar brasileira**: estado atual e cenários futuros baseados em simulações multimodelos. 2014. Tese (Livre Docência em Agrometeorologia) - Escola Superior de Agricultura Luiz de Queiroz, Universidade de São Paulo, Piracicaba, 2014. doi:10.11606/T.11.2014.tde-22082014-112751. Acesso em: 2020-01-11.

MATOS, O. I. T. Adubação nitrogenada, parcelada ou singular, em pastagem irrigada de *Cynodon spp.* 2017. Dissertação (Mestrado). Universidade Tecnológica Federal do Paraná.

MAYA, F.L.A. Produtividade e viabilidade econômica da recria e engorda de bovinos em pastagens adubadas intensivamente com e sem uso da irrigação. 2003. 81p. Dissertação (Mestrado na área de Ciência Animal e Pastagens) – Escola Superior de Agricultura “Luiz de Queiroz”, Universidade de São Paulo, Piracicaba, 2003.

MENDONÇA, F. C.; CAMARGO, A. C.; STIVARI, A.; LIMA, C.; FERREIRA, F.; COTI, L.; QUINAGLIA NETO, P. Dimensionamento de sistemas de irrigação para pastagens em propriedades de agricultura familiar. São Carlos: Embrapa Pecuária Sudeste, 2007. (Boletim de P & D).

MENDONÇA, F. C.; SANTOS, P. M.; CAVALCANTE, A. C. R. Irrigação de pastagens. In: PIRES, A. V. (Org.). **Bovinocultura de corte**. 1ª ed., Piracicaba: FEALQ, 2010, v. 1, p. 473-496.

MELLO, A. C. L.; PEDREIRA, C. G. S. Respostas morfológicas do capim-tanzânia (*Panicum maximum* Jacq. cv. Tanzânia-1) irrigado à intensidade de desfolha sob lotação rotacionada. **Revista Brasileira de Zootecnia**, v. 33, n. 2, p. 282-289, 2004.

MOCHEL FILHO, W.E.; CARNEIRO, M. S. S.; ANDRADE, A. PEREIRA, E. S.; ANDRADE, A. P.; CÂNDIDO, M. J. D. S.; MAGALHÃES, J. RODRIGUES, B. H. N.; SANTOS, F. J. S.; COSTA, N. L. Produtividade e composição bromatológica de *Panicum maximum* cv. Mombaça sob irrigação e adubação azotada. **Revista de Ciências Agrárias**, v. 39, n. 1, p. 81-88, 2016.

MORAES, F.; LOPES, M. A.; BRUHN, F. R.; CARVALHO, F. M.; LIMA, A. L.; REIS, E. M. Efeito da irrigação de pastagens em índices técnicos e gerenciais de propriedades leiteiras. **Boletim de Indústria Animal**, Nova Odessa, v. 72, n. 2, p. 136-142, 2015.

MOTA, V. J. G.; REIS, S. T.; SALES, E. C. J.; ROCHA JUNIOR, V. R.; OLIVEIRA, F. G.; WALKER, S. F.; MARTINS, C. E.; CÔSER, A. C. Lâminas de irrigação e doses de nitrogênio em pastagem de capim-elefante no período seco do ano no norte de Minas Gerais. **Revista Brasileira de Zootecnia**, v. 39, n. 6, p. 1191-1199, 2010.

OLIVEIRA, P. P. A.; PENATI, M. A.; CORSI, M. Correção do solo e fertilização de pastagens em sistemas intensivos de produção de leite. São Carlos: Embrapa Pecuária Sudeste, 2008. Série Documentos, n. 86. Disponível em: <<https://www.infoteca.cnptia.embrapa.br/bitstream/doc/49219/1/Documentos86.pdf>>.

OLIVEIRA, M. D.; PEREIRA, O. G.; GARCIA, R.; OBEID, J. A.; CECON, P. R.; MORAES, S. D.; SILVEIRA, P. D. Rendimento e valor nutritivo do capim-tifton 85 (*Cynodon spp.*) em diferentes idades de rebrota. **Revista Brasileira de Zootecnia**, v. 29, n. 6, p. 1949-1960, 2000.

OLIVEIRA, P. P. A.; PRIMAVESI, A. C.; CAMARGO, A. C.; RIBEIRO, W. M.; SILVA, E. T. M. **Recomendação da sobressemeadura de aveia em pastagens tropicais ou subtropicais irrigadas**. São Carlos: Embrapa Pecuária Sudeste. Comunicado Técnico 61, 2005. Disponível em: <<https://www.infoteca.cnptia.embrapa.br/bitstream/doc/47253/4/PROCIComT61AAR2005.00184.pdf>>. Acesso em 23/12/2019.

OLIVO, C. J.; MEINERTZ, G. R.; AGNOLIN, C. A.; STEINWANDTER, E.; ZIECH, M. F.; SKONIESKI, F. R. Produção de forragem e carga animal de pastagens de Coastcross sobressemeadas com forrageiras de inverno. **Revista Brasileira de Zootecnia**, v. 39, n. 1, p. 68-73, 2010.

OST, H. J.; SILVA, G. M.; MAIXNER, A. R.; BERTO, J. L.; MONTARDO, D. P.; SARTORI, C. O. Sobressemeadura de forrageiras de inverno em pastagem de Tifton 85. In In: CONGRESSO SUL BRASILEIRO DE PRODUÇÃO ANIMAL SUSTENTÁVEL, 1., 2010, Chapecó. **Anais...** Chapecó: CEO: UDESC, 2010. Disponível em: <<https://www.alice.cnptia.embrapa.br/bitstream/doc/875449/1/meta2010gms72.pdf>>.

PEDREIRA, B. C.; PEDREIRA, C. G. S.; SILVA, S. C. Acúmulo de forragem durante a rebrotação de capim-xaraés submetido a três estratégias de desfolhação. **Revista Brasileira de Zootecnia**, v. 38, p. 618-625, 2009.

PEREIRA, R. M. A.; SYKES, D. S.; GOMIDE, J. A.; VIDIGAL, G. T. Comparison of 10 grasses for cut green fodder in the cerrado in 1965. **Rev. Ceres**, Viçosa, v. 13, n. 74, p. 141-153, 1966.

PEREIRA, A. V.; MITTELMANN, A.; LEDO, F. J. S.; SOUZA SOBRINHO, F.; AUAD, A. M.; OLIVEIRA, J. S. Comportamento agrônomo de populações de azevém anual (*Lolium multiflorum* Lam.) para cultivo invernal na região sudeste. **Ciência e Agrotecnologia**, v. 32, n. 2, p. 567-572, 2008.

PEREIRA, O. G.; ROVETTA, R.; RIBEIRO, K. G.; SANTOS, M. E. R.; FONSECA, D. D.; CECON, P. R. Crescimento do capim-Tifton 85 sob doses de nitrogênio e alturas de corte. **Revista Brasileira de Zootecnia**, v. 41, n. 1, p. 30-35, 2012.

PINHEIRO, V. D. Viabilidade econômica da irrigação de pastagem de capim tanzânia em diferentes regiões do Brasil. 2002. 81 p. Dissertação (Mestrado em Agronomia/Irrigação e Drenagem) Escola Superior de Agricultura “Luiz de Queiroz”, Universidade de São Paulo, Piracicaba, 2002.

PINTO, L. F. DE M.; SILVA, S. C.; SBRISSIA, A. F.; CARVALHO, C. A. B.; CARNEVALLI, R. A.; FAGUNDES, J. L.; PEDREIRA, C. G. S. Dinâmica do acúmulo de matéria seca em pastagens de Tifton 85 sob pastejo. **Scientia Agricola**, v. 58, n. 3, 2001. p. 439-447.

POSTIGLIONI, S. R. Comportamento da aveia, azevém e centeio na região dos Campos Gerais, PR. Londrina, IAPAR, 18p. Boletim técnico, IAPAR, n.14, 1982.

PRUDENTE JUNIOR, A. C. **Utilização de sonda capacitiva FDR para estimativa do consumo de água e coeficiente de cultura (Kc) de *Urochloa brizantha* cv. Marandu em cultivo solteiro e consorciado**. 2019. Dissertação (Mestrado em Engenharia de Sistemas Agrícolas) – Escola Superior de Agricultura Luiz de Queiroz, Universidade de São Paulo, Piracicaba, 2019. Disponível em: <<http://www.teses.usp.br/teses/disponiveis/11/11152/tde-29082019-170608/>>. Acesso em: 2019-12-10.

RASSINI, J. B. Período de estacionalidade de produção de pastagens irrigadas. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v. 39, n. 8, p. 821-825, 2004.

RODRIGUES, B. H. N.; BASTOS, E.; FERNANDES, P.; ANDRADE JUNIOR, A. S.; ANDRADE, A. Coeficiente de cultura do capim Tanzânia nos tabuleiros litorâneos do Piauí. In: Embrapa Meio-Norte-Artigo em anais de congresso (ALICE). In: CONGRESSO BRASILEIRO DE AGROMETEOROLOGIA, 16, 2009, Belo Horizonte. **Mudanças climáticas, recursos hídricos e energia para uma agricultura sustentável**. Belo Horizonte: SBA: UFV: Embrapa Milho e Sorgo, 2009.

RODRIGUES, B. H. N.; ANDRADE, A. C.; MAGALHÃES, J. A.; COSTA, N. L.; BEZERRA, E. E. A. Determinação do teor de proteína bruta de *Panicum maximum* cv. Tanzânia, sob diferentes níveis de irrigação e adubação nitrogenada. **Pubvet**, v. 4, p.886-892, 2010.

RODRIGUES, D. A.; AVANZA, M. F. B.; DIAS, L. G. G. G. Sobressemeadura de aveia e azevém em pastagens tropicais no inverno: revisão de literatura. **Revista Científica Eletrônica de Medicina Veterinária**, Garça, v. 9, n. 16, 2011. Disponível em: <http://www.faef.revista.inf.br/imagens_arquivos/arquivos_destaque/Xuh4UcEksPD3TLT_2013-6-26-11-14-53.pdf>.

ROLIM, F. A. Estacionalidade de produção de forrageiras. 2.ed.. In: PEIXOTO, A. M., MOURA, J. C., FARIA, V. P. (Ed.). **Pastagens: fundamentos da exploração racional**. Piracicaba: FEALQ, p. 533-565, 1994.

SANCHES, A. C.; GOMES, E. P.; RICKLI, M. E.; FASOLIN, J. P.; SOARES, M. R.; GOES, R. H. de. Produtividade e valor nutritivo do capim Tifton 85 irrigado e sobressemeado com aveia. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental - Agriambi**, v. 19, n. 2, 2015.

SANCHES, A. C.; GOMES, E. P.; RICKLI, M. E.; FRISKE, E.; FASOLIN, J. P. Productivity and nutritive value of Tifton 85 in summer, with and without irrigation under different nitrogen doses. **Engenharia Agrícola**, v. 37, n. 2, p. 246-256, 2017.

SANCHES, A. C. **Coefficiente de cultura (Kc) e correlações de consumo de água, fatores produtivos e biométricos de gramíneas tropicais em cultivo exclusivo e em sobressemeadura com forrageiras de inverno**. 2017. Tese (Doutorado em Engenharia de Sistemas Agrícolas) - Escola Superior de Agricultura Luiz de Queiroz, Universidade de São Paulo, Piracicaba, 2017. doi:10.11606/T.11.2018.tde-22032018-160953. Acesso em: 2019-12-10.

SANDS, P.J.; LANDSBERG, J.J. Parameterisation of 3-PG for plantation grown *Eucalyptus globulus*. **Forest Ecology and Management**, 163:273-292, 2002.

SILVA, S.C.; CORSI, M. Manejo do pastejo. In: SIMPÓSIO SOBRE MANEJO DA PASTAGEM, 20, 2003, Piracicaba, **Anais...** Piracicaba: FEALQ, 2003. p.155-186.

SILVA, S. C. da; BUENO, A. A. de O.; CARNEVALLI, R. A.; UEBELE, M. C.; BUENO, F. O.; HODGSON, J.; MATTHEW, C.; ARNOLD, G. C.; MORAIS, J. P. G. de. Sward structural characteristics and herbage accumulation of *Panicum maximum* cv. Mombaça subjected to rotational stocking managements. **Scientia Agrícola**, v. 66, n. 1, p. 8–19, fev. 2009.

SILVA, E. A.; SILVA, W. J.; BARRETO, A. C.; OLIVEIRA JUNIOR, A. B.; PAES, J. M. V.; RUAS, J. R. M.; QUEIROZ, D. S. Dry matter yield, thermal sum and base temperatures in irrigated tropical forage plants. **Rev. Bras. Zootecnia**, v. 41, n. 3, p. 574-582, 2012.

SILVA, D. R. G.; COSTA, K. A. P.; FAQUIN, V.; OLIVEIRA, I. P.; BERNARDES, T. F. Doses e fontes de nitrogênio na recuperação das características estruturais e produtivas do capim-marandu. **Revista Ciência Agronômica**, v. 44, n. 1, p. 184-191, 2013.

SILVA, S.; SBRISSIA, A.; PEREIRA, L. Ecophysiology of C4 forage grasses – Understanding plant growth for optimising their use and management. **Agriculture**, v. 5, n. 3, p. 598–625, 2015.

SILVEIRA, M. C. T.; NASCIMENTO JÚNIOR, D.; CUNHA, B. A. L.; DIFANTE, G. S.; PENA, K. S.; SILVA, S. C.; SBRISSIA, A. F. Effect of cutting interval and cutting height on morphogenesis and forage accumulation of guinea grass (*Panicum maximum*). **Tropical Grasslands**, v. 44, n. 2, p. 103-108, 2010.

SILVEIRA, M. C. T.; SILVA, S. C.; SOUSA JUNIOR, S. J.; BARBERO, L. M.; RODRIGUES, C. S.; LIMÃO, V. A.; PENA, K. S.; NASCIMENTO JUNIOR, D. Herbage accumulation and grazing losses on ‘Mulato’ grass subjected to strategies of rotational stocking management. **Scientia Agrícola**, v. 70, p. 242-249, 2013.

SORIA, L. G. T. **Produtividade do capim-tanzânia (*Panicum maximum* Jacq. cv. Tanzânia) em função da lâmina de irrigação e de adubação nitrogenada**. 2002. Tese (Doutorado em Irrigação e Drenagem) – ESALQ/USP, 2003. doi:10.11606/T.11.2003.tde-04042003-165152. Acesso em: 12/08/2019.

SOUZA, D. P. de. **Consumo de água, relações hídricas e biométricas em dois sistemas de cultivo irrigado de *Urochloa brizantha* (Syn. *Brachiaria brizantha*) cv. Marandu**. 2017. Dissertação (Mestrado em Engenharia de Sistemas Agrícolas) - Escola Superior de Agricultura Luiz de Queiroz, Universidade de São Paulo, Piracicaba, 2017. doi:10.11606/D.11.2017.tde-25072017-164342. Acesso em: 2019-12-10.

TAFFAREL, L. E.; CASTAGNARA, D. D.; MESQUITA, E. E.; ABBADO, M.; NERES, P. S. R. D. O.; BATISTA, P. B. Produção de forrageiras de inverno sobressemeadas à lanço em pastagem de *Brachiaria brizantha*. In: CONGRESSO NORDESTINO DE PRODUÇÃO ANIMAL, 6; UFERSA, Mossoró, 2010. **Anais...** Mossoró: Sociedade Nordestina de Produção Animal; UFERSA, 2010. Disponível em: <http://cac.php.unioeste.br/projetos/cmetloeste/pub_tecnicas/29_02_12/03.pdf>.

TEIXEIRA, A. M.; JAYME, D. G.; SENE, G. A.; FERNANDES, L. O.; BARRETO, A. C.; RODRIGUES JÚNIOR, D. J.; GLÓRIA, J. R. Desempenho de vacas Girolando mantidas em pastejo de Tifton 85 irrigado ou sequeiro. **Arquivo Brasileiro de Medicina Veterinária e Zootecnia**, Belo Horizonte, v. 65, n. 5, p. 1447-1453, 2013.

TOSI, H. Conservação de forragens como consequência do manejo. In: SIMPÓSIO SOBRE MANEJO DA PASTAGEM, 2., 1973, Piracicaba. **Anais...** Piracicaba: ESALQ, 1973. p. 118-140.

VALLE, C. B. do; EUCLIDES, V. P. B.; PEREIRA, J. M.; PAGLIARINI, J. R. V. M. S.; MACEDO, M. C. M.; LEITE, G. G.; LOURENÇO, A. J.; FERNANDES, C. D.; FILHO, M. B. D.; LEMPP, B.; POTT, A.; SOUZA, M. A. de. **O Capim-Xaraés (*Brachiaria brizantha* cv. Xaraés) na Diversificação das Pastagens de Braquiária**. 1. ed. Campo Grande: Embrapa Gado de Corte, 2004. v. 149

VALLE *et al.*. O melhoramento de forrageiras tropicais no Brasil. **Revista Ceres**, Viçosa, v. 56, n. 4, p. 460-472, 2009. Disponível em: <<http://www.ceres.ufv.br/ojs/index.php/ceres/article/viewFile/3454/1352>>.

VALLE, C. B.; JANK, L.; RESENDE, R. M. S. O melhoramento de forrageiras tropicais no Brasil. **Revista Ceres**, Viçosa, v. 56, n. 4, p. 460-472, 2009.

VAN WART J; VAN BUSSEL WOLF; L.G.J. Use of agro-climatic zones to upscale simulated crop yield potential. **Field Crops Research**, Amsterdam, v.13; p. 44 - 55, 2013.

VILLA NOVA, N. A.; BARIONI, L. G.; PEDREIRA, C. G. S.; PEREIRA, A. R. Modelo para previsão da produtividade do capim elefante em função de temperatura do ar, fotoperíodo e frequência de desfolha. **Revista Brasileira de Agrometeorologia**, v. 7, n. 1, 1999.

WERNER, J. C.; PAULINO, V. T.; CANTARELLA, H. Recomendação de adubação e calagem para forrageiras. In: RAIJ, B. van; SILVA, N. M.; BATAGLIA, O. C.; QUAGGIO, J. A.; HIROCE, R.; CANTARELLA, H.; BELLINAZZI, JR., R.; DECHEN, A. R.; TRANI, P. E. **Recomendação de adubação e calagem para o Estado de São Paulo**. Campinas: Instituto Agrônomo, 1996. p. 263-271.

XAVIER, A. C.; COELHO, R. D.; LOURENÇO, L. F.; MACHADO, R. E. Manejo da irrigação em pastagem irrigada por pivô-central. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, v. 8, n. 2/3, p. 233-239, 2004.

ZAMBRANO ANDRADE, G. A. Evaluación de tres coeficientes del cultivo (K_c) para determinar las necesidades de riego en *Panicum maximum* cv 'Tobiatá' bajo condiciones de El Zamorano, Honduras. 2004. Disponível em:
<<https://bdigital.zamorano.edu/bitstream/11036/2012/1/CPA-2004-T059.pdf>> .

ZANINI G.D.; SANTOS G. T.; SBRISSIA A. F. Frequencies and intensities of defoliation in Aruana Guineagrass swards: accumulation and morphological composition of forage. **Revista Brasileira de Zootecnia**, v. 41, p. 905-913, 2012.

**CAPÍTULO 2: EXTENSÃO RURAL E TRANSFERÊNCIA DE TECNOLOGIA NA
IRRIGAÇÃO DE PASTAGENS**

EXTENSÃO RURAL E TRANSFERÊNCIA DE TECNOLOGIA NA IRRIGAÇÃO DE PASTAGENS

RESUMO

Diferentemente da área de pesquisa, o trabalho de extensão abrange todo o sistema de produção de uma propriedade rural, e não é incomum que tenha ações e efeitos fora dela. Portanto, não é adequado dissociar a irrigação das demais opções tecnológicas adotadas. Como a irrigação é uma técnica complementar a várias outras aplicadas a sistemas intensivos de produção animal baseados em pastagens, objetivou-se apresentar todos os resultados da transferência de tecnologia juntos, com o máximo foco possível na irrigação de pastagens. Além da própria irrigação, estão inclusos o pastoreio rotativo, a fertilização intensiva e o cultivo consorciado de forragens de inverno em pastagens tropicais (sobressemeadura). Atualmente, a questão da conservação de água e solo em bacias hidrográficas tem sido abordada frequentemente, e as atividades agropecuárias são muito visadas devido ao grande uso de água. Sistemas de pagamento por serviços ambientais (PSA) têm sido adotados mundialmente para melhorar a qualidade da água e aumentar sua disponibilidade em bacias hidrográficas. Entretanto, um aspecto pouco abordado nos sistemas de PSA é a geração de renda para os produtores rurais, responsáveis pela implantação e manutenção da infraestrutura para os serviços ambientais. Assim, neste capítulo também é apresentado o resultado de um trabalho de pesquisa com simulações da geração de renda em propriedades rurais dedicadas à produção de leite, e, decorrência do trabalho de extensionistas rurais, no sistema de PSA “Conservador das Águas”.

Palavras-chave: Irrigação, extensão rural, geração de renda, pagamento por serviços ambientais.

RURAL EXTENSION AND TECHNOLOGY TRANSFER IN PASTURE IRRIGATION

ABSTRACT

Unlike the research area, extension work covers the entire crop-livestock production system, and it is not uncommon that this work to have actions and effects outside it. Therefore, it is not appropriate to dissociate irrigation from other technological options adopted. As irrigation is a complementary technique to many others applied to pasture-based, intensive livestock systems, this work aimed at presenting all the results of technology transfer together, focusing the most possible on pasture irrigation. In addition to irrigation itself, one includes rotational grazing, intensive fertilization and intercropping of winter fodder crops on tropical pastures (overseeding). Currently, the issue of water and soil conservation in river basins has been frequently addressed, and crop-livestock activities are highly targeted due to the large use of water. Payment systems for environmental services (PES) have been adopted worldwide to improve water quality and increase its availability in river basins. However, an aspect little addressed in PES systems is the income generation for farmers, who are co-responsible for implementing and maintaining the infrastructure for environmental services. Thus, this chapter also presents the result of research work with simulations of income generation in dairy farms, as a result of the work of rural extension workers in the Program “Conservador das Águas” (PES Water Conservative Program).

Keywords: Pasture irrigation, rural extension, income generation, payment for environmental services.

1. INTRODUÇÃO

No Brasil há exemplos dos benefícios de programas de transferência de tecnologia para a produção agrícola (produção vegetal e animal) que contribuem para melhorar o trabalho dos extensionistas rurais. Geralmente esses programas são planejados e executados por instituições públicas e têm a participação de empresas privadas, com a finalidade de promover melhorias em sistemas de produção.

Vários deles baseiam-se em treinos de equipes e visitas às propriedades rurais para verificação dos resultados obtidos e planejamento da correção de falhas no processo de transferência. Entretanto, há variações na forma de execução de cada programa. Alguns são executados na forma de projeto e têm curta duração, com início, meio e término preestabelecidos. Outros são programas, têm longa duração e não têm término predefinido.

Há exemplos de iniciativas que começaram como projetos e, posteriormente, tornaram-se programas. Tal mudança geralmente ocorre quando os projetos de transferência de tecnologia têm seus objetivos ampliados no decorrer de um projeto, principalmente quando a repercussão dos resultados chama a atenção de outros interessados.

Nos programas de longa duração realizados no Brasil geralmente há várias parcerias institucionais e/ou individuais, pois nenhuma instituição ou indivíduo é capaz de realizar um trabalho que contemple todas as peculiaridades do País. A diversidade de clima, solos, estrutura fundiária e sistemas de gestão de propriedades faz com que os processos de transferência de tecnologia tenham de ser adaptados às condições encontradas. Portanto, deve-se ter flexibilidade suficiente para que o programa tenha sucesso em cada ambiente.

Na produção animal há exemplos aplicados à produção de carne e de leite. De modo geral, a estrutura fundiária das propriedades é diferente. Geralmente, as que trabalham com gado de corte têm áreas maiores que as de produção de leite. Por isso, é necessário que os projetos ou programas de extensão considerem as peculiaridades de cada sistema de produção para empregar adequadamente as opções tecnológicas e as técnicas de difusão e extensão.

Os sistemas de produção de carne têm três atividades distintas: cria (produção de bezerros), recria (de bezerro ao boi magro) e engorda (do boi magro ao boi gordo). Há propriedades que realizam as três atividades e outras especializadas em uma ou duas delas.

Os sistemas de produção de leite são de três tipos: a pasto, semi-confinamento e confinamento. Geralmente, no Brasil cada propriedade adota um desses tipos, mas há propriedades maiores que utilizam dois deles, ou todos.

Devido a essa diversidade de sistemas de produção e às várias combinações possíveis

entre eles, é necessário que a transferência de tecnologia seja feita de modo adequado para otimizar os recursos empregados nos programas (tempo, pessoas e dinheiro).

Os sistemas de produção de carne ou leite a pasto são assim chamados porque a maior parte dos alimentos consumidos pelo rebanho vem das pastagens. Dependendo do clima, a produção de forragem em pastagens tropicais apresenta sazonalidade. Assim, há necessidade de alternativas de produção de alimento para a época de menor produtividade das pastagens. As mais utilizadas são capineiras, cana de açúcar e silagem, juntamente com a mudança na quantidade e na qualidade do alimento concentrado fornecido (ração), e necessidade de adaptação dos animais à mudança da composição alimentar.

Alimento volumoso de alta qualidade nutricional resulta em redução da quantidade de ração necessária e do custo de produção, e no aumento da margem líquida da atividade produtiva. Como a alimentação é o maior componente do custo de produção (50-70% do total), incrementos da produtividade de alimentos de menor custo reduzem o risco financeiro para os produtores de carne e leite.

A irrigação de pastagens é uma técnica que pode aumentar acentuadamente a produtividade de forragem, contribuindo para o aumento da segurança alimentar do rebanho e para a redução do custo de produção de carne ou leite. Entretanto, seu custo total (aquisição, implantação, financeiro, manutenção, mão de obra e energia) representa cerca de 30% do custo total de produção de forragem em pastagens⁶.

Para que a irrigação seja efetiva na redução de custos, a deficiência hídrica deve ser o principal fator limitante à produtividade das pastagens, ao menos em parte do ano, e o sistema de irrigação deve ser utilizado com finalidades adicionais ao suprimento de água. Tais finalidades incluem a aplicação de fertilizantes (fertirrigação), o controle de pragas e doenças com produtos químicos (quimirrigação) ou biológicos (bioirrigação), o consórcio de forrageiras tropicais e hibernais (sobressemeadura) para aumento de produção de forragem no período estacional e a melhoria ambiental para os animais (sombra e dessedentação).

Um obstáculo para atingir tais finalidades é a carência de profissionais extensionistas qualificados ao trabalho de introdução e uso da irrigação em pastagens. Portanto, é necessário realizar esforços para a transferência de tecnologia adequada a cada finalidade.

O trabalho de extensão rural tem amplas finalidades e abrange sistemas de produção e é difícil para um profissional ter domínio sobre todos os temas relativos à produção animal. Por isso, há muita colaboração entre tais profissionais; os que têm mais habilidade em determinada

⁶ Estimativas feitas pelo autor desta Tese, em conjunto com pesquisadores da Embrapa Pecuária Sudeste e das empresas Agrodinâmica e Cooperideal.

área agem como consultores dos colegas, que por sua vez retribuem nas áreas em que têm maior domínio, e a rede de trabalho colaborativo (*network*) é prática usual na extensão rural.

O trabalho com a irrigação de pastagens segue tal regra e constata-se certa especialização de alguns profissionais no tema. Portanto, não é adequado dissociar a irrigação das demais opções tecnológicas adotadas em propriedades rurais, pois é uma técnica complementar às outras em sistemas intensivos de produção animal baseados em pastagens.

Apesar de sua importância, na literatura científica há poucos relatos sobre o efeito do trabalho sobre extensão rural e transferência de tecnologia aplicada à produção animal, principalmente para a produção de leite. Também são raros os trabalhos sobre o efeito do trabalho do extensionista rural na geração de renda para os produtores de leite.

Assim, este trabalho tem por objetivo apresentar alguns resultados de orientação aplicada à transferência de tecnologia em sistemas de produção animal intensiva em pastagens, focando na irrigação, bem como apresentar o efeito da extensão rural na geração de renda em propriedades leiteiras.

2. REVISÃO DE LITERATURA

2.1. Transferência de tecnologia em sistemas de produção agropecuária

Transferência de tecnologia é um termo largamente utilizado, mas nem sempre de forma adequada. Januzzi (2002) afirma que ela inclui a aprendizagem do uso dos recursos disponíveis (materiais naturais criados, processos desenvolvidos e recursos humanos) para a produção de bens e serviços. Vieira (2003) observa que a transferência de tecnologia pressupõe relações de troca, nas quais há a tecnologia a ser transferida (produto, processo ou serviço), um vendedor (quem gera a tecnologia) e um comprador (seu usuário). A compensação pode ser monetária (Ex.: *royalties*) e/ou envolver reconhecimento, visibilidade de marca ou benefício à sociedade.

Novo e Schiffler (2006) afirmaram que a abertura comercial do Brasil, a estabilidade de preços e o livre mercado entre blocos econômicos levaram à necessidade de mudanças profundas na forma de gerenciar as atividades do agronegócio, inclusive na pecuária leiteira. Tal cenário tem maior impacto em áreas de terras mais valorizadas, devido às demais opções de uso da terra, tais como o arrendamento para produção de grãos ou para usinas sucroalcooleiras, o que transformou rapidamente o perfil dos produtores. Quatorze anos depois, tais mudanças continuam em curso e a saída é a mesma apontada pelos autores: a profissionalização do produtor de leite.

Os mesmos autores ainda afirmaram que tal profissionalização deve ter como meta principal a alta eficiência nos sistemas de produção, de modo a elevar a rentabilidade e reduzir custos de produção. No caso da produção de leite, é necessário melhorar a eficiência da produção de alimentos volumosos, de alta qualidade e em quantidade suficiente para alimentar o rebanho durante todo o ano.

Para que as mudanças necessárias ocorram adequadamente é fundamental que haja orientação técnica para a elaboração do projeto a ser implantado. A colaboração de profissionais da extensão rural faz com que o produtor rural economize tempo e dinheiro, evitando cópias malfeitas de projetos feitos em outras propriedades ou localidades, ou do que os produtores encontram em revistas especializadas.

É muito comum o uso indevido das expressões “difusão de tecnologia” e “transferência de tecnologia”. Enquanto a difusão é um processo rápido e coletivo, a transferência é um processo lento e individual. Novo e Camargo (2004) afirmam que há uma distorção conceitual relacionada ao uso indevido da expressão “transferência de tecnologia”, pois ela dá a entender que tecnologia é uma entidade física ou um bem tangível. Os autores citaram uma definição

mais abrangente de tecnologia, que é "o conhecimento que aplicamos às ciências básicas ou a produtos, ferramentas e processos para desenvolver uma solução para uma nova necessidade" (PRICE, 1996 *apud* Novo e Camargo, 2004)⁷. Assim, afirmaram que o termo "transferência de tecnologia" deve ser interpretado como um processo de compartilhamento, de como utilizar a tecnologia. Tal compartilhamento deve ser feito de forma pessoal, e o resultado é o aumento de conhecimento de ambas as partes. Os autores afirmaram que esse tipo de ação é raro no meio rural e torna-se uma grande limitação ao aumento da eficiência da cadeia produtiva do leite.

Duarte (2004) observa que a transferência de tecnologia não significa apenas introduzir inovações, mas de possibilitar o aumento de conhecimento sobre tecnologias disponíveis, novas ou não, e seus usos, impactos e riscos, para capacitar gestores a tomar decisões mais adequadas às suas necessidades e apresentar demandas de pesquisa.

Novo e Camargo (2004) observam que o processo de transferência de tecnologia deve ser pensado de forma sistêmica. O trabalho deve ser feito abrangendo todo o sistema de produção, começando pelo diagnóstico da situação inicial por parte do extensionista, seguido pelo estabelecimento da comunicação adequada com o produtor rural, pelo estabelecimento de metas no trabalho e do planejamento das etapas para atingi-las.

Fujisaka (1994) cita seis razões pelas quais os produtores rurais não adotam inovações que poderiam melhorar a sustentabilidade da agricultura:

- a) Tecnologia resultante de problema mal definido pela pesquisa: os produtores não enfrentam o problema que os pesquisadores supunham;
- b) A prática dos produtores é igual ou melhor que a sugerida pelos pesquisadores;
- c) A tecnologia não se adapta às condições dos produtores tidos como usuários;
- d) A tecnologia cria outros problemas ou seus resultados são similares ou inferiores aos de soluções pré-existentes;
- e) Difusão dirigida ao público errado, ou demonstração incorreta de sua utilização em situações práticas; e
- f) A tecnologia com custos muito elevados e benefícios previstos superestimados.

O autor observa que a adoção de tecnologia depende de fatores sociais, da opinião prévia dos produtores sobre as práticas tecnológicas e da conscientização sobre a sustentabilidade da agricultura, concluindo que o imediatismo e a insegurança sobre a posse da terra afetam muito a adoção de tecnologias.

⁷ PRICE, R. M. Technology and strategic advantage. **California Management Review**, v. 38, n. 3, p. 38-55, Spring, 1998.

Diante de considerações similares às de Fujisaka (1994), Novo e Camargo (2004) observaram que é possível refletir sobre as causas reais da pequena utilização de tecnologia em muitas propriedades leiteiras. Os autores afirmam que muitos produtores tentam aplicar tecnologia sem terem sido devidamente treinados. O resultado disto é a ausência do retorno esperado, frustração e descrédito com relação a mudanças tecnológicas. Como exemplos, citaram o manejo intensivo de pastagens, no qual os erros incluem o dimensionamento de piquetes, o desequilíbrio das adubações, os horários de pastejo inadequados, vias de acesso e falta de sombra e água próximo ou dentro dos piquetes.

2.2. Métodos de transferência de tecnologia

Um dos métodos utilizados para transferência de tecnologia é chamado de “Treino e Visita” (DOMIT e ADEGAS, 1999). Um exemplo de sua utilização é o trabalho de cooperação técnica entre a Embrapa Soja e a Caramuru Alimentos, com o objetivo de expandir a cultura do girassol pela Região Centro-Oeste (VIEIRA et al., 2004). Tal trabalho consistiu na validação e na transferência de tecnologia desenvolvida e recomendada para a cultura, de modo a ampliar sua adoção e aumentar a eficiência técnica e econômica dos produtores assistidos. Na primeira fase foi criado um comitê de especialistas (pesquisadores e técnicos) de ambas as instituições, que definiram as tecnologias a serem transferidas e elaboraram o cronograma de atividades. Na segunda fase, os técnicos especialistas formaram grupos de técnicos de campo, que por sua vez, formaram grupos de produtores. Os técnicos transferiram as tecnologias definidas por período e fizeram visitas de acompanhamento e avaliação de resultados. Como resultado, a produtividade da cultura aumentou 71% (de 866 para 1.483 kg ha⁻¹).

Um método similar ao “Treino e Visita” foi utilizado na transferência de tecnologia para a produção de leite, no Projeto Balde Cheio (NOVO e CAMARGO, 2004; NOVO e SCHIFFLER, 2006; CAMARGO et al. 2006a; b; c; d; e). O método empregado nesse projeto consiste em utilizar propriedades rurais produtoras de leite como sala de aulas práticas, realizando o treinamento de extensionistas aplicado a sistemas de produção de leite.

O extensionista em treinamento recebe a visitas quadrimestrais de orientação, acompanhamento e avaliação de seu trabalho na propriedade, que é denominada “Unidade Demonstrativa” (UD). Cada extensionista é responsável pelo trabalho de assessoria e orientação técnica do(a) produtor(a) rural em uma UD, na qual tem o compromisso de fazer ao menos uma visita mensal de orientação ao(à) proprietário(a). Além disso, pode trabalhar (e espera-se que o faça) na orientação técnica em outras propriedades, utilizando a experiência e o conhecimento

adquiridos na UD. Assim, o trabalho do extensionista tem efeito multiplicador na transferência de tecnologia para a produção de leite.

2.3. Extensão rural e irrigação de pastagens

2.3.1. Setor leiteiro brasileiro

Novo *et al.* (2010) analisaram o ambiente de competição pelo uso da terra no Estado de São Paulo e ressaltaram o contraste existente entre as políticas de longo prazo para o setor sucroalcooleiro e o setor leiteiro. O primeiro teve uma política trabalhada por longo período, foi considerado estratégico e recebeu subsídios e incentivos fiscais. O segundo não teve políticas de longo prazo e vivenciou um ambiente de pouco ou nenhum subsídio e alta vulnerabilidade econômica. Os autores relatam que as possíveis razões para isto são a falta de atenção governamental para o desenvolvimento da produção de leite, o estigma de atividade de agricultura familiar de subsistência, orientada ao mercado interno e com pouca representação e influência política em relação ao setor sucroalcooleiro.

Apesar dessa conjuntura, o setor leiteiro cresceu 123% entre 1990 e 2018, atingindo a marca de 33,5 bilhões de litros (Figura 13), com valor bruto da produção (VBP) superior ao da cana-de-açúcar e inferior apenas ao dos setores de milho, carne bovina e soja (Figura 14).

Figura 13 – Evolução da produção de leite no Brasil, entre 1990 e 2018.

Fonte: MilkPoint⁸.

⁸ MilkPoint - <https://www.milkpoint.com.br/estatisticas/>

Figura 14 - Valor bruto da produção no Brasil em 2018 (em R\$ bilhões)

Fonte: CNA⁹.

Apesar da grandiosidade dos números apresentados, e de ser o quarto maior produtor mundial de leite, o setor enfrenta grandes desafios. Entre eles, a baixa produtividade por vaca ($L \text{ vaca}^{-1} \text{ ano}^{-1}$) e por área ($L \text{ ha}^{-1} \text{ ano}^{-1}$). A evolução da produção de leite entre 2008 e 2017 pode ser vista na Tabela 11.

Tabela 11 – Evolução da produção, do número de vacas ordenhadas, da área ocupada com a produção, e da produtividade de leite no Brasil, entre 2008 e 2017.

Ano	Produção (L x 10 ⁹)	Vacas ordenhadas (milhões)	Área ¹ (ha x 10 ⁶)	Produtividade anual		ΔP^2 (%)	ΔV^3 (%)	ΔPdt^4 (%)
				(L ha ⁻¹)	(L vaca ⁻¹)			
2008	27,585	21,585	25,515	1081	1278	-	-	-
2009	29,085	22,435	26,519	1097	1296	5%	4%	1%
2010	30,715	22,925	27,098	1133	1340	11%	6%	5%
2011	32,096	23,229	27,458	1169	1382	16%	8%	8%
2012	32,304	22,804	26,955	1198	1417	17%	6%	11%
2013	34,255	22,955	27,133	1262	1492	24%	6%	17%
2014	35,124	23,028	27,220	1290	1525	27%	7%	19%
2015	34,610	21,111	24,954	1387	1639	25%	-2%	28%
2016	33,656	19,667	23,247	1448	1711	22%	-9%	34%
2017	33,491	17,060	20,166	1661	1963	21%	-21%	54%

Fonte: IBGE - Pesquisa Pecuária Municipal (2017)

1 - Estimativa a partir da lotação animal média de 0,94 UA/ha e peso médio das vacas de 500 kg PV (1,11 UA).

2 – Evolução da produção com base no ano 2008.

3 – Evolução do número de vacas ordenhadas com base no ano 2008.

4 – Evolução da produtividade anual ($L \text{ ha}^{-1} \text{ ano}^{-1}$) com base no ano 2008.

Houve aumento da produção ($\Delta P = +21\%$) e redução do número de vacas ordenhadas

⁹ Confederação Nacional da Agricultura - <https://www.cnabrazil.org.br/cna/panorama-do-agro>

($\Delta V = -21\%$) e da área ocupada. Portanto, o aumento da produtividade por área (ΔPdt) se deu pela adoção de tecnologia para intensificação da produção. Entretanto, as produtividades por vaca e por área no Brasil estão muito aquém das encontradas em países com alto uso de tecnologia para produção de leite a pasto, como a Nova Zelândia ($2900 \text{ L vaca}^{-1} \text{ ano}^{-1}$; $2,8 \text{ vacas ha}^{-1}$; $8120 \text{ L ha}^{-1} \text{ ano}^{-1}$) (RISTOW, 2018).

O autor explicou a grande diferença de produtividade citando os seguintes fatores favoráveis à Nova Zelândia:

- a) Isolamento geográfico que protege seu rebanho de doenças;
- b) Condição climática perfeita e solo extremamente fértil;
- c) Abundância de água para irrigação;
- d) Alto grau de organização e adoção de tecnologia.

As principais diferenças entre o ambiente de produção de leite brasileiro e neozelandês estão associadas a três fatores: volume, tecnologia e estrutura operacional.

O volume de produção é justificado pelo tamanho dos rebanhos neozelandeses; 50% das fazendas têm 100 a 350 vacas, 30% têm 500 ou mais, 12% têm 750 vacas e 5% têm mais de 1000 vacas. No Brasil, a maioria das propriedades têm menos de 50 vacas. Considerando a produtividade brasileira por vaca ($5,4 \text{ L vaca}^{-1} \text{ dia}^{-1}$) e por área ($1963 \text{ L ha}^{-1} \text{ ano}^{-1}$), isto resulta em baixo volume produzido e baixa renda para os produtores.

Quanto à adoção de tecnologia, Ristow (2018) destaca dois pontos: irrigação e melhoramento genético. Aliados, esses dois fatores aumentam significativamente a eficiência dos sistemas leiteiros. O autor ainda cita o fato de a Nova Zelândia ter 800 mil ha irrigados por pivô central ou K-line (Figura 15), que promovem aumento na produtividade das pastagens, tanto para a produção de leite como para carne e lã.

Figura 15 – Sistemas de irrigação pivô central (a) e K-line (b) utilizados na Nova Zelândia.

Fonte: Ristow (2018) e MilkPoint (*website*).

O pivô central é um equipamento de maior custo que o K-line, porém, tem maior durabilidade, menor necessidade de mão de obra e possibilita a automação da irrigação. O sistema K-line tem custo de aquisição menor que o do pivô, porém, tem menor durabilidade e maior necessidade de mão de obra para trocas diárias de posição na pastagem. A decisão por um ou outro sistema depende da disponibilidade de recursos financeiros de cada produtor.

No Brasil, a área atual de pastagens irrigadas é cerca de 88 mil ha¹⁰, correspondente a 11% da área na Nova Zelândia. As estimativas de disponibilidade hídrica e área irrigável feitas no estudo denominado *Análise territorial para o desenvolvimento da agricultura irrigada no Brasil* (BRASIL, 2014) indicam um potencial de 75,2 milhões de hectares de áreas irrigáveis no País, divididas em três categorias por classes de aptidão solo-relevo: (i) alta aptidão, 21,95 milhões de ha; (ii) média aptidão, 25,45 milhões de ha; e (iii) baixa aptidão, 27,8 milhões de hectares. Como a área atualmente irrigada não chega a 7 milhões de ha, isto indica um enorme potencial de crescimento da irrigação em pastagens no País.

2.3.2. Projeto Balde Cheio

Um dos programas bem-sucedidos de transferência de tecnologia para a produção de leite é o Projeto Balde Cheio. Apesar de seu nome incluir a palavra “Projeto”, trata-se de um programa por não ter término predefinido. Entretanto, será citado como projeto em respeito ao nome dado por seus autores.

O Balde Cheio foi criado em 1998, na Embrapa Pecuária Sudeste, por iniciativa dos Drs. Artur Chinelato de Camargo e André Luiz Monteiro Novo, e tem por objetivo o treinamento de extensionistas para a orientação técnica aplicada à produção intensiva de leite, utilizando pastagens como principal alimento volumoso. Segundo os criadores do projeto, sua missão é resgatar a autoestima e a dignidade do produtor de leite, permitindo-lhe alcançar a sustentabilidade socioeconômica e ambiental.

O projeto tem parcerias com Secretarias Estaduais de Agricultura, prefeituras, departamentos municipais de agricultura, instituições de ensino e pesquisa, instituições financeiras, cooperativas e a Organização das Cooperativas do Brasil (OCB), laticínios, associações, federações de agricultura, Serviço Nacional de Aprendizagem Rural (SENAR), Serviço Brasileiro de Apoio às Micro e Pequenas Empresas (SEBRAE) e profissionais autônomos, além do Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento (MAPA).

¹⁰ Fonte: Comunicação pessoal – Eng. Agrônomo Leandro Juncioni Lance, empresa NaanDanJain. Estimativas feitas pela equipe da empresa.

Segundo dados de seu próprio *website*¹¹, em 2019, o Projeto Balde Cheio atendeu 1609 propriedades em 468 municípios de 19 estados brasileiros. Estão em capacitação 260 técnicos, que atuam em 326 Unidades Demonstrativas (propriedades rurais que funcionam como sala de aula para os extensionistas) e 1283 propriedades. Os treinamentos incluem a gestão da propriedade, o manejo do rebanho e da pastagem, de modo a atingir altos índices de produtividade, rentabilidade e lucratividade.

Tal como descrito no item 2.2, a proposta de trabalho no Balde Cheio é voltada ao treinamento de profissionais técnicos atuantes na extensão rural pública ou privada. O método de trabalho é a utilização de uma propriedade leiteira (Unidade Demonstrativa – UD) como salas de aula para o extensionista, que aprenderá e aplicará conceitos de produção intensiva de leite. O trabalho é desenvolvido da seguinte forma:

- a) Visitas quadrimestrais de um orientador da Embrapa, ou de um orientador-multiplicador habilitado pela Embrapa, para ensino, acompanhamento, avaliação e realização de ajustes no planejamento e na execução do processo de intensificação da produção de leite;
- b) Visitas mensais do extensionista à UD, para orientação do produtor rural em seu trabalho no processo produtivo;
- c) Treinamento teórico concentrado (cursos de curta duração), geralmente em alguma unidade da Embrapa ou em local indicado por instituições parceiras (SEBRAE, Federações de Agricultura, cooperativas etc.);
- d) Dias de campo para difusão do trabalho de produção intensiva de leite;
- e) Encontros técnicos (Simpósios) para confraternização, formação e fortalecimento da rede de contatos (*network*), discussão do trabalho e reorientação de métodos e práticas.

Os benefícios alcançados nesse projeto podem ser vistos nos índices zootécnicos e econômicos das propriedades, tal como exposto em Camargo *et al.* (2006a, b, c, d, e). Tais benefícios são obtidos com a aplicação de vários métodos e técnicas, inclusive a irrigação.

¹¹ Projeto Balde Cheio - <https://www.embrapa.br/balde-cheio>

3. MATERIAL E MÉTODOS

Este trabalho foi executado em duas etapas, a saber:

- a) Apresentação dos trabalhos realizados pelo autor desta tese, referentes à transferência de tecnologia associada à irrigação de pastagens;
- b) Apresentação de um trabalho de pesquisa orientado pelo autor da tese, relativo à geração de renda decorrente do trabalho de extensionistas rurais.

Cada tópico foi abordado como um subitem, dentro do item Resultados e Discussão.

4. RESULTADOS E DISCUSSÃO

4.1. Projetos e manejo de pastagens irrigadas

Neste subitem são expostos os aspectos fundamentais sobre projetos e manejo da irrigação, abordados em artigos na literatura científica, bem como o desenvolvimento tecnológico alcançado e algumas iniciativas de sua adoção em propriedades rurais.

A irrigação de pastagens tem crescido no Brasil, em virtude de melhoras na formação de técnicos ligados à produção animal, tanto os extensionistas quanto os ligados a revendas de sistemas de irrigação. Segundo um levantamento da NaanDanJain¹², já foram projetados e instalados por esta empresa cerca de 88 mil ha de sistemas de irrigação em pastagens, e a demanda vem crescendo nas localidades em que há empresas com bons projetistas e com produtores que recebem assistência técnica especializada em produção animal.

Portanto, é fundamental que haja treinamento de profissionais que trabalhem diretamente com os produtores rurais, para que os sistemas de irrigação tenham bom desempenho e sejam bem manejados.

Geralmente a irrigação é aplicada em parte da área de pastagens de cada propriedade, principalmente por restrição de disponibilidade hídrica. Nos casos em que não há tal restrição, geralmente as propriedades tem área muito pequena.

De modo geral, a maioria dos sistemas de irrigação instalados em propriedades leiteiras tem área inferior a 10 ha, mas há casos de grandes propriedades leiteiras com sistemas de

¹² NaanDanJain, informação pessoal.

irrigação por pivô central, tal como a fazenda da Letíssimo¹³, na Bahia, e mais recentemente, a fazenda da Cooperideal (Cooperativa para Inovação e Desenvolvimento da Atividade Leiteira Ltda.), no Piauí, cujo sistema de pastejo rotacionado em área com pivô central com gado de corte foi recentemente convertido para a produção de leite, devido à maior rentabilidade.

Embora a elaboração de projetos de irrigação para pequenas áreas facilite o treinamento de profissionais, percebe-se que ainda há grande carência de técnicos habilitados a projetar e assessorar os produtores no manejo da irrigação. As principais razões para isto são:

- a) Deficiências de formação básica: muitos técnicos participantes de cursos relatam falta de habilidade e conhecimento básico para realizar os cálculos referentes à irrigação, tanto para o planejamento (Agrometeorologia e Física de Solos) quanto para o projeto em si (Hidráulica). Em alguns casos, também há carência de conhecimento sobre planilhas eletrônicas.
- b) Cursos de curta duração: a maioria dos cursos de projetos têm duração igual ou inferior a 5 dias. Ao fim do curso, os participantes se veem diante de muitas informações e técnicas previamente desconhecidas, e ainda não têm a habilidade necessária para ordená-las de modo apropriado para projetar e manejar os sistemas de irrigação. Por isso, é importante que os instrutores incluam um período de assessoria pós-curso para realmente capacitar os profissionais a lidar com a irrigação e orientar adequadamente os produtores rurais.

4.1.2. Transferência de tecnologia para irrigação de pastagens

Um exemplo de expansão ordenada da irrigação de pastagens pode ser visto no Projeto Balde Cheio¹⁴, cujo objetivo é realizar o treinamento de extensionistas para a orientação técnica aplicada à produção intensiva de leite.

Dentro do Projeto Balde Cheio, a irrigação de pastagens recebeu atenção especial devido ao grande potencial de aumento da produção de forragem. Entretanto, apesar de terem consciência de sua importância, no início do projeto não havia treinamento sobre irrigação.

No ano de 2005, o autor desta Tese ingressou como pesquisador na Embrapa Pecuária Sudeste e passou a integrar a equipe do Projeto Balde Cheio. A observação do trabalho dos extensionistas rurais treinados no projeto levou à constatação de seu baixo grau de conhecimento sobre irrigação, evidenciando a necessidade de um trabalho focado nesse tema.

Assim, a irrigação de pastagens passou a fazer parte do programa de treinamento dos extensionistas. Foi criado um programa composto por dois cursos de curta duração (Básico e

¹³ Projeto Leite Verde. Fonte: MilkPoint – <https://www.milkpoint.com.br/noticias-e-mercado/giro-noticias/ba-fazenda-leitissimo-mostra-seu-sistema-de-producao-61976n.aspx>.

¹⁴ Projeto Balde Cheio – Embrapa – <https://www.embrapa.br/balde-cheio>.

Avançado, ambos com 40 horas) e o posterior monitoramento à distância de ex-alunos interessados em aumentar a eficácia de seu trabalho. Assim, manteve-se o princípio de treinamento e acompanhamento preconizado no Projeto Balde Cheio.

O primeiro curso (Básico) abrangia noções de Física de Solos, Agrometeorologia e Hidráulica, a elaboração de projetos de irrigação e técnicas básicas para o seu manejo.

O segundo curso focava em técnicas de projeto de sistemas, incluindo um treinamento básico para uso do software AutoCAD® e de planilha eletrônica MS-Excel®, ambos aplicados à elaboração de projetos de irrigação por aspersão convencional.

O período de monitoramento pós-curso tinha duração máxima de um (01) ano, de acordo com a necessidade do extensionista. Nesse período, os projetos de irrigação e o trabalho dos extensionistas com ferramentas de manejo da irrigação eram analisados na Embrapa, a fim de verificar falhas e inconsistências, orientando os profissionais a corrigi-las.

O autor desta Tese ministrou 50 cursos, com média de 20 alunos por curso (total de 1000 ex-alunos), num período de 6 anos (de 2005 a 2011), a maioria como pesquisador da Embrapa (2005-2010) e alguns como professor da ESALQ/USP (2010-2011). Com isso, aumentou a adoção da irrigação nas propriedades assistidas por esses extensionistas.

A adoção da irrigação é incentivada a partir do momento em que o extensionista e o produtor já possuem conhecimentos adequados sobre manejo de pastagens para produção intensiva, que envolvem o pastejo rotacionado, a correção da fertilidade do solo e a adubação, e o manejo do rebanho leiteiro. Quando o fator limitante à produção passa a ser a deficiência hídrica, o extensionista e os produtor rural são orientados à adoção da irrigação, sempre que houver água disponível para isto.

Numa estimativa baseada em experiência pessoal e *feedback* dos extensionistas, pode-se citar os seguintes resultados:

- a) Livro *Projetos e Manejo de Irrigação de Pastagens* (Figura 16), elaborado a partir do material utilizado nos cursos;
- b) Cerca de 20% dos ex-alunos (200 técnicos) elaboraram ao menos um projeto e instalaram ao menos um sistema de irrigação no campo;
- c) Cerca de 5% dos ex-alunos (50 técnicos) tornaram-se projetistas de irrigação e, a partir do curso, vêm elaborando projetos e acompanhando a instalação de sistemas de irrigação em pastagens;
- d) Os melhores projetistas relataram a conclusão (projeto e instalação) de mais de 1000 sistemas de irrigação, principalmente em pequenas áreas (média de 2-4 ha/sistema, dependendo do projetista);

- e) Ao menos duas empresas de irrigação foram criadas (IrrigaRural, Araras-SP; IrrigaPasto, Tatuí-SP) e três incluíram a irrigação a seus negócios (Agrodinâmica, Cerqueira César-SP; Somar Irrigação, Santa Fé-PR; Casa do Adubo, Vitória-ES);
- f) Os treinamentos de irrigação de pastagens atraíram a atenção da empresa NaanDanJain, que fez parceria com a Embrapa Pecuária Sudeste e passou a dar condições diferenciadas de preços para aquisição de sistemas de irrigação por produtores assistidos por técnicos do Projeto Balde Cheio;
- g) A eficácia de cursos de curta duração é baixa sem o monitoramento pós-curso; e
- h) A prática de ensino em cursos de curta duração e acompanhamento posterior (seis meses a um ano) mostrou-se mais eficaz, fato confirmado por relatos de extensionistas, que se sentiram mais confiantes para elaborar projetos e instalar sistemas de irrigação nas propriedades assistidas por eles.

Figura 16 – Capa e ficha catalográfica do livro *Projetos e Manejo de Irrigação de Pastagens*.

Fonte: O autor.

4.2. Novas funcionalidades de sistemas de irrigação

Os sistemas de irrigação podem ter outros tipos de uso, além da reposição hídrica às plantas, o que colabora para a redução dos demais custos de produção, além da irrigação.

A fertirrigação (água + fertilizantes) reduz o custo de adubação, evitando operações

convencionais de aplicação (manuais, em pequenas áreas, ou mecanizadas, em grandes áreas). Em grandes áreas, colabora para reduzir a perda de forragem e a compactação do solo causada pela passagem de tratores e implementos.

Além da aplicação de fertilizantes, também podem ser aplicados produtos de controle de pragas e patógenos. Por exemplo, é comum a utilização de produtos de controle biológico (bioirrigação) para o controle de cigarrinhas (fungo *Metarhizium anisopliae*) e lagartas (fungo *Beauveria bassiana*).

Outra forma de uso múltiplo da irrigação é a utilização da estrutura metálica de pivôs centrais para outras finalidades, além da movimentação e sustentação da tubulação aérea (linha lateral). As treliças são utilizadas para a instalação de telas de sombrite e nebulizadores, que aumentam o conforto térmico dos animais na pastagem (Figura 17a, b).

Figura 17 – Benefícios do uso de pivô central em pastagens: a) resfriamento com aspersão de água e sombrite para vacas em lactação – Faz. Santo Antônio da Canto Porto, Mogi Mirim, SP; b) vacas pastando em horário de sol pleno – CRP Agropecuária, Pompéu, MG.

Fontes: websites da Faculdade de Agronomia e Zootecnia de Uberaba (Fazu)¹⁵ e Revista Leite Integral¹⁶.

Além disso, também se utiliza tal estrutura para instalar uma tubulação adicional e bebedouros basculantes com boias, para a dessedentação animal (Figura 18).

Essas novas funcionalidades permitem que os animais permaneçam por mais tempo na pastagem, se alimentem mais dela e menos de alimentos concentrados. As consequências da melhoria do ambiente de pastejo são a redução do estresse térmico, o aumento da produtividade dos animais e a redução do custo de alimentação.

¹⁵ <https://www.fazu.br/02/professor-da-fazu-orienta-projeto-das-fazendas-sao-francisco-e-santo-antonio-do-grupo-canto-porto/>

¹⁶ <http://www.revistaleiteintegral.com.br/noticia/leite-a-pasto-sob-pivo-central>

Figura 18 – Rebanho leiteiro em bebedouros basculantes montados em uma torre de pivô central.

Fonte: website Leite Integral¹⁷.

4.3. Extensão rural e geração de renda em propriedades leiteiras

A política de pagamento por serviços ambientais (PSA) vem ao encontro do segundo caminho, pois é uma tentativa de estimular os produtores rurais a aderirem, com um maior grau de conscientização à legislação ambiental vigente, para melhorar a qualidade e aumentar a disponibilidade de água em períodos críticos do ano hidrológico (seca e veranicos).

Adicionalmente aos objetivos citados e relativos aos PSAs, busca-se formas de evitar prejuízos aos proprietários de pequenas propriedades rurais, geralmente os mais afetados pelas adequações ambientais necessárias.

A análise dos sistemas de PSA existentes no Brasil evidencia os baixos valores oferecidos aos produtores rurais (Tabela 12). Portanto, é necessário evoluir o conceito de PSA e criar propostas atrativas ao produtor rural para incentivar sua adesão.

Assim, realizou-se um trabalho de pesquisa voltado à simulação do potencial de geração de renda em propriedades leiteiras decorrente da orientação técnica de extensionistas rurais, como pagamento indireto por serviços ambientais. Neste caso “pagamento indireto” foi definido como o fornecimento de um benefício ao produtor rural sem repasse de dinheiro.

¹⁷ <http://www.revistaleiteintegral.com.br/noticia/leite-a-pasto-sob-pivo-central>

Tabela 12 - Valores de referência para o pagamento por serviços ambientais aos proprietários rurais no Produtor de Água no PCJ, em R\$/ha/ano, considerando prazo de contrato de três anos.

Avaliação da restauração		Estágio sucessional da floresta	APP ciliar na propriedade a ser restaurada (%)			Abatimento da erosão (%)		
Medianamente cuidada	Bem cuidada		15-30	31-60	> 60	25-50	51-75	> 75
83,00	125,00	Médio ou avançado	42,00	83,00	125,00	25,00	50,00	75,00
		Inicial	25,00	50,00	75,00			

* Área de Preservação Permanente (mata ciliar) demarcada de acordo com o Código Florestal vigente à época de lançamento do projeto em 2008. Portanto, antes da publicação da nova lei florestal (Lei nº 12651 de 25/05/2012 e seus desdobramentos).

Fonte: TNC (2015).

Simulou-se o efeito da inclusão de extensionistas como forma de incentivo ao ingresso em um PSA denominado “Programa Conservador das Águas”, na cidade de Extrema, MG. Este trabalho resultou em uma Dissertação de mestrado (Rochelle, 2018).

A justificativa para tal trabalho vem do fato de haver frequentes discussões sobre a competição pelo uso de recursos hídricos em bacias hidrográficas com alto grau de antropização. Nessas bacias há uma forte competição pelo uso de água, devido à grande demanda dos usuários, ao nível de poluição associado à alta densidade demográfica e à carência de saneamento básico (tratamento de esgotos), que estimulam os diversos usuários a tomarem dois caminhos possíveis: (i) busca por recursos hídricos de outras fontes; (ii) desenvolvimento de estratégias para aumento da disponibilidade e qualidade da água.

Para uma simulação com possibilidade de resultados consistentes e com chance de sucesso, pode-se utilizar parâmetros de programas de treinamento de extensionistas orientados à intensificação e ao aumento da renda de produtores rurais.

Nesse caso, o trabalho foi realizado visando à produção de leite e as simulações foram baseadas em resultados obtidos no Projeto “Balde Cheio”, que desde o ano de 1998 vem apresentando bons resultados em propriedades leiteiras.

Como o treinamento do extensionista nesse projeto tem duração de quatro anos, foram analisados dados zootécnicos e econômicos em 17 propriedades leiteiras e participantes do Projeto “Balde Cheio”, com tempo de participação igual ou superior a quatro anos.

Os dados oriundos dessas propriedades foram utilizados na simulação de dados evolutivos de produtividade e rentabilidade, com índices zootécnicos e econômicos de propriedades rurais da bacia hidrográfica do Ribeirão das Posses, em Extrema, MG.

Os objetivos do trabalho foram:

Geral: Simular a evolução técnica e econômica de propriedades rurais da sub-bacia do Ribeirão das Posses (Extrema, MG), a partir da orientação técnica para produção intensiva de leite baseada em pastagens, com base nos dados do Projeto “Balde Cheio”.

Específicos:

- a) Quantificar a geração potencial de renda obtida na produção de leite, nas propriedades rurais da sub-bacia Ribeirão das Posses tendo como referência as propriedades participantes do Projeto “Balde Cheio”;
- b) Verificar se o custo do trabalho dos extensionistas é coberto pela geração adicional de renda decorrente do aumento da produção de leite.

A sub-bacia do Ribeirão das Posses está localizada no município de Extrema-MG, no Sul de Minas Gerais, entre as coordenadas UTM 374.500 - 371.500 E; 7.468.200 - 7.474.800 S (Datum SAD 69); e altitudes de 1.144 a 1.739 (Figura 21). O clima é do tipo Cwb, segundo a classificação do Köppen (mesotérmico, verões brandos e suaves, estiagem de inverno). A temperatura média anual é de 18°C, com média de máximas e de mínimas de 25,6°C e 13,1°C, respectivamente, e média de precipitação pluvial de 1.477 mm (ANA, 2008).

Tem área de 1.254,78 ha, dividida em 100 propriedades rurais, todas com menos de quatro (04) módulos fiscais, o que as caracteriza como pequenas propriedades (distribuição na Figura 21) Todas as propriedades da sub-bacia das Posses têm menos que quatro (4) módulos fiscais, o que as caracteriza como pequenas propriedades, sua distribuição pode ser vista na Figura 21).

Os mapas de caracterização da sub-bacia Ribeirão das Posses podem ser vistos nas Figuras 19 a 21. Predominam cinco tipos de solos na sub-bacia (Figura 20): Argissolo Vermelho-Amarelo (PVA), 40%; Cambissolo Háplico (CX), 29%; Neossolo Litólico (RL), 11%; Cambissolo Húmico (CH), 10%; e Neossolo Flúvico (RY), 10%). A ocupação predominante do solo é composta por pastagens (73% da área – Figura 21). Outros usos do solo incluem eucalipto, culturas anuais e mata nativa (LIMA, 2013).

Figura 19 - Mapa de localização, topografia e rede de drenagem da sub-bacia do Ribeirão das Posses em Extrema, MG

Fonte: LIMA (2013)

Figura 20 - Mapa das classes de solos (a) e relevo (b) da sub-bacia Ribeirão das Posses, Extrema, MG

Fonte: LIMA (2013)

Figura 21 - Mapa de uso do solo (a) e divisão das propriedades rurais na sub-bacia do Ribeirão das Posses, Extrema, MG

Fonte: LIMA (2013)

Para os cálculos nas simulações, as propriedades foram divididas em quatro classes de área: (a) ≤ 12 ha; (b) 12,1 - 24 ha; (c) 24,1 - 36 ha; e (d) > 36 ha.

Os índices zootécnicos e econômicos de propriedades participantes do Projeto Balde Cheio, com áreas similares às das classes citadas e em localidades próximas ao município de Extrema, foram utilizados para simular o desempenho produtivo e econômico das propriedades da sub-bacia das Posses, como se já estivessem participando do projeto de treinamento de extensionistas.

Nas simulações também se utilizou os índices zootécnicos e econômicos regionais e nacionais da pecuária de leite como situação inicial, previamente ao ingresso no Projeto Balde Cheio. Os dados utilizados foram a produtividade média e o de custo de produção, ambos fornecidos pelo Centro de Estudos Avançados em Economia Aplicada – CEPEA - ESALQ/USP. Para comparar dados econômicos, todos os valores foram atualizados (inflacionados) para o ano de 2016, considerando-se o índice do IGP-DI.

A seguir, são apresentados os índices zootécnicos e econômicos utilizados nas simulações:

Índices Zootécnicos

- Média anual de vacas em lactação (VL);
- Média anual de vacas secas (VS);
- Média anual de percentagem de vacas em lactação no rebanho (VL%);
- Média anual de vacas em lactação por área (vacas/ha);
- Média anual de produção por vacas em lactação (PVL, L vaca⁻¹ dia⁻¹);
- Média anual de produção por vaca do rebanho (PVR, L vaca⁻¹ dia⁻¹);
- Percentagem de vacas no rebanho (V%);
- Percentagem de vacas em lactação no rebanho (VL%);
- Produtividade média anual por área (PMA, L ha⁻¹); e
- Produtividade média anual com equivalente leite (PMAEL, L ha⁻¹): média anual de leite somada à renda da venda de animais convertida em litros de leite.

Índices Econômicos

- Fluxo de Caixa (R\$): resultado operacional calculado pela diferença entre Receita Total e Despesa Total (despesas com custeio mais despesas com investimento);
- Fluxo de Caixa por área (R\$/ha): resultado operacional calculado pela divisão do Fluxo de Caixa pela área utilizada na produção de leite;
- Custo Operacional Efetivo (COE) (R\$/litro): custo obtido pela divisão das despesas com custeio pela quantidade total de leite produzido;
- Custo Operacional Efetivo com equivalente-leite (R\$/litro): custo obtido pela divisão das despesas de custeio pela soma do leite total produzido e do equivalente-leite (animais vendidos);
- Custo Total (R\$/litro): custo obtido pela divisão da soma das despesas com custeio, depreciações de máquinas e instalações, e remunerações dos capitais investidos em animais e terra, pela quantidade de leite produzido sem a remuneração do proprietário;
- Custo Total com equivalente-leite (R\$/litro): custo obtido pela divisão da soma das despesas de custeio, depreciações de máquinas e instalações e remunerações dos

capitais investidos em animais e em terra, pela soma da quantidade de leite produzido e do equivalente-leite (animais vendidos) sem a remuneração do proprietário;

- Margem Líquida (R\$): resultado da diferença entre receita total e custo operacional total;
- Margem Líquida por área (R\$/ha): resultado da diferença entre receita total e custo operacional total dividida pela área ocupada com a atividade leiteira;
- Lucro (R\$): valor obtido retirando-se da receita total a soma das despesas de custeio, depreciações de máquinas e instalações e remunerações dos capitais investidos em animais e terra;
- Lucro por área (R\$/ha): é o lucro dividido pela área utilizada na atividade leiteira; e Lucro por litro (R\$/litro): é o lucro dividido pelo leite produzido.

O custo do extensionista foi calculado da seguinte forma:

- Extensionista autônomo (sem vínculo empregatício);
- Rotina de trabalho: 1 visita dia⁻¹, 5 visitas semana⁻¹;
- Fins de semana: 1 dia para relatórios e 1 dia de descanso;
- R\$ mês⁻¹ 400,00 por produtor assistido;
- Máximo de 20 produtores mês⁻¹ (1 produtor dia⁻¹ x 5 dias semana⁻¹);
- Equipe de assistência técnica formada por cinco (05) extensionistas (100 produtores assistidos; 20 produtores técnico⁻¹);
- *Pró-labore* total (bruto): R\$ técnico⁻¹ mês⁻¹ 8.000,00.
- Custo total mensal: R\$ mês⁻¹ 40.000,00;
- Custo total anual: R\$ ano⁻¹ 480.000,00

O uso da terra foi simulado considerando que todas as propriedades cumprem com as diretrizes estabelecidas no Código Florestal Brasileiro. Portanto, simulou-se a modificação da cobertura vegetal do solo nas propriedades participantes, utilizando o software QGIS para distribuir as áreas de APP, Reserva Legal e de demais usos (Pastagens, instalações prediais, pátios, estradas, carreadores etc.).

Na base de cálculo de impostos gerados a partir da produção de leite, considerou-se a alíquota estabelecida para o leite em Minas Gerais e paga pelos laticínios (7%).

Com os dados e as condições estabelecidas, no estudo simulou-se o aumento de renda decorrente do aumento da produção de leite na sub-bacia do Ribeirão das Posses em Extrema (MG), devido ao trabalho de intensificação da produção, sob orientação dos extensionistas associados à política de Pagamento por Serviços Ambientais.

Os resultados do estudo estão publicados em uma Dissertação de Mestrado (Rochelle, 2018). Aqui serão apresentados apenas os essenciais às conclusões do trabalho.

Como o treinamento técnico no Projeto Balde Cheio tem duração de 4 anos, serão comentados os resultados no 4º e no 7º ano, em comparação à situação no primeiro ano.

4.3.1. Índices zootécnicos

4.3.1.1. Vacas em lactação e lotação animal

Houve aumento da percentagem de vacas em lactação em rebanhos de todas as classes de área (Tabela 13). Isto indica melhorias no processo de detecção de cio e prenhez, resultante do trabalho de assistência técnica. Na média, o aumento foi de 14% no 4º ano e 16% no 7º ano.

Tabela 13 – Médias de percentagem de vacas em lactação, por classe de área

Área	Vacas em lactação (%)						
	Tempo de assistência técnica (anos)						
	1	2	3	4	5	6	7
0,1 – 12,0	77,53	78,07	80,95	85,22	80,58	82,55	81,45
12,1 – 24,0	69,00	81,43	81,40	82,13	82,97	82,30	84,57
24,1 – 36,0	64,00	69,38	71,13	74,30	79,13	78,75	79,70
> 36,0	71,42	77,28	80,19	79,51	79,35	82,50	82,50
Média	70,49	76,54	78,42	80,29	80,51	81,53	82,06
> 1º ano	---	9%	11%	14%	14%	16%	16%

Fonte: Adaptado de Rochelle (2018)

4.3.1.2. Vacas em lactação por área

Tal como no item 4.3.1, houve aumento da lotação de vacas na pastagem, que chegou a 65% no 4º ano e a 107% no 7º ano. Isto evidencia que o treinamento de técnicos (direto) e produtores (indireto) resulta em ganho acentuado de produtividade. Técnicas como a adubação e a irrigação de pastagens colaboram para a elevação observada na lotação de vacas. A divisão da pastagem em piquetes, o aumento da fertilidade do solo e o planejamento de produção de alimentos para o período hibernar estão entre as primeiras ações programadas em propriedades leiteiras.

Tabela 14 – Médias de lotação de vacas em lactação, por classe de área

Área	Vacas em lactação (vacas ha ⁻¹)						
	Tempo de assistência técnica (anos)						
	1	2	3	4	5	6	7
0,1 – 12,0	1,3	2,02	2,35	2,76	2,93	3,1	3,07
12,1 – 24,0	1,08	1,24	1,44	1,7	1,88	1,98	2,29
24,1 – 36,0	0,96	1,18	1,37	1,41	1,55	1,57	1,95
> 36,0	1,21	1,3	1,45	1,66	1,38	1,42	2,11
Média	1,14	1,44	1,65	1,88	1,94	2,02	2,36
> 1º ano	---	26%	45%	65%	70%	77%	107%

Fonte: Adaptado de Rochelle (2018)

4.3.1.3. Produção de leite por vaca e lactação

Na Tabela 15 percebe-se que a média de produção por vaca em lactação aumentou em 29% no 4º ano e 37% no 7º ano. Isto indica o efeito do treinamento de seleção do rebanho, que inclui o controle da produção de leite por animal, o descarte de vacas pouco produtivas e a inclusão de vacas com maior média diária de produção.

Tabela 15 – Médias de produção de leite por vacas em lactação, por classe de área

Área	Produção diária de leite (L vaca ⁻¹ dia ⁻¹)						
	Tempo de assistência técnica (anos)						
	1	2	3	4	5	6	7
0,1 – 12,0	12,90	13,58	16,78	16,51	15,82	17,30	17,55
12,1 – 24,0	11,60	13,57	15,80	17,47	18,27	19,43	19,37
24,1 – 36,0	11,45	12,38	13,52	14,50	15,00	15,10	15,80
> 36,0	13,83	14,61	14,09	15,67	14,38	13,88	15,30
Média	12,45	13,54	15,05	16,04	15,87	16,43	17,01
> 1º ano	---	9%	21%	29%	28%	32%	37%

Fonte: Adaptado de Rochelle (2018)

4.3.1.4. Percentagem de vacas no rebanho

Os resultados apresentados na Tabela 16 nos mostram o resultado do trabalho de reestruturação do rebanho. Quanto mais vacas houver no rebanho, e quanto mais vacas estiverem em lactação, maior será a produção de leite. Neste caso, a percentagem de vacas

aumentou 345% no 4º ano e 365% no 5º ano (não havia dados de todas as propriedades para o 7º ano).

Nesta variável ocorreu redução ao longo do tempo, indicando a confiança dos produtores no trabalho dos técnicos. A redução da percentagem de vacas no rebanho mostra que os produtores tomaram a decisão de reter animais de cria (bezerras) e recria (novilhas), de modo a aumentar o rebanho a médio ou a longo prazo.

Tabela 16 - Porcentagem de vacas no rebanho, por classe de área das propriedades

Área	Vacas no rebanho (%)						
	Tempo de assistência técnica (anos)						
	1	2	3	4	5	6	7
0,1 – 12,0	66,66	54,20	66,82	65,77	69,88	69,75	63,00
12,1 – 24,0	71,00	50,00	47,33	55,67	59,00	60,67	57,33
24,1 – 36,0	66,20	58,68	58,98	54,98	57,50	-	-
> 36,0	47,56	48,03	47,95	45,25	45,00	-	-
Média	62,86	52,73	55,27	55,42	57,85	65,21	60,17
> 1º ano	---	-16%	-12%	-12%	-8%	4%	-4%

Fonte: Adaptado de Rochelle (2018)

4.3.1.5. Produtividade de leite por área

Na Tabela 17 observa-se o resultado conjunto dos demais índices zootécnicos, que refletem na produtividade de leite. A produtividade aumentou 114% no 4º ano e 186% no 7º ano. Tal resultado é o efeito conjunto das melhorias na produção de forragem, na alimentação, na detecção de cio, na taxa de prenhez, no aumento das taxas de lotação da pastagem e na seleção e estruturação do rebanho.

Tabela 17 – Produtividade de leite, por classe de área das propriedades

Área	Produtividade (L ha ⁻¹ ano ⁻¹)						
	Tempo de assistência técnica (anos)						
	1	2	3	4	5	6	7
0,1 – 12,0	6131,5	10182,3	14284,7	15783,3	16562,8	19429,5	19679,0
12,1 – 24,0	4183,0	6174,7	8310,0	10801,3	12522,3	14152,7	16156,0
24,1 – 36,0	3404,3	5211,8	6458,5	7410,8	8137,7	8562,5	11186,0
> 36,0	6980,8	7684,8	7813,2	10357,5	7007,5	6972,5	12205,0
Média	5174,9	7313,4	9216,6	11088,2	11057,6	12279,3	14806,5
> 1º ano	---	41%	78%	114%	114%	137%	186%

4.3.2. Índices econômicos

A análise dos índices econômicos ressalta a evolução os efeitos da assistência técnica sobre os resultados dos produtores. Esses índices deixam claro que a assistência técnica especializada melhora os resultados econômicos. Sua análise pode servir como subsídio ao estabelecimento da assistência técnica e da ação dos extensionistas como pagamento indireto (sem repasse de dinheiro) como instrumento de geração de renda para produtores rurais e embrião da mudança nos sistemas de pagamento por serviços ambientais (PSA).

Observa-se que, à época de publicação da dissertação de Rochelle (2018), os dados do CEPEA/ESALQ-USP mostravam que a propriedade modal (representativa) da mesorregião Sul e Sudeste de Minas Gerais tinha custo operacional efetivo (COE) de R\$ L⁻¹ 0,88, custo total (CT) de R\$ L⁻¹ 1,25 e Margem Líquida (ML) de R\$ L⁻¹ 0,07.

4.3.2.1. Custo Operacional Efetivo (COE)

Na Tabela 18 observa-se os resultados do trabalho de assistência técnica sobre o custo operacional efetivo, que é calculado pela divisão das despesas com custeio pela quantidade total de leite produzido (COE = custeio/produção).

Tabela 18 – Evolução do Custo Operacional Efetivo e comparação com o valor modal do CEPEA para os resultados médios das propriedades

Área	Custo Operacional Efetivo (COE) (R\$ L ⁻¹)						
	Tempo de assistência técnica (anos)						
	1	2	3	4	5	6	7
0,1 – 12,0	0,67	0,58	0,64	0,63	0,54	0,55	0,55
12,1 – 24,0	0,55	0,59	0,69	0,68	0,65	0,67	0,67
24,1 – 36,0	0,59	0,71	0,62	0,64	0,57	0,78	0,68
> 36,0	0,76	0,76	0,79	0,81	0,75	0,84	0,73
CEPEA*	0,88	0,88	0,88	0,88	0,88	0,88	0,88
Média	0,69	0,704	0,724	0,728	0,678	0,744	0,702
> 1º ano	---	2%	5%	6%	-2%	8%	2%

* COE estimado pelo CEPEA para a propriedade modal da mesorregião Sul e Sudeste de MG.

Fonte: Adaptado de Rochelle (2018)

Observa-se o COE aumentou 6% do 1º ao 4º ano, indicando que os produtores fizeram investimentos no sistema de produção (rebanho, pastagens, canavial, silagem, infraestrutura etc.), que refletem nesse indicador.

O COE médio das propriedades foi inferior ao da propriedade modal do levantamento do CEPEA, indicando que as propriedades operam com menor risco econômico que a propriedade modal.

4.3.2.2. Custo Total de Produção (CT)

Na Tabela 19 se pode ver os resultados das estimativas de médias do custo total (CT) de produção de leite, discriminadas por classe de área. O custo total (CT) é obtido pela divisão do total das despesas com custeio, depreciações de máquinas e instalações, e remuneração dos capitais investidos em animais e terra pela quantidade de leite produzido ($CT = \text{Despesa total} / \text{Produção}$).

Tabela 19 – Evolução do Custo Total (CT) e comparação com o valor modal do CEPEA para os resultados médios das propriedades

Área	Custo Total (CT) (R\$ L ⁻¹)						
	Tempo de assistência técnica (anos)						
	1	2	3	4	5	6	7
0,1 – 12,0	0,99	0,88	0,88	0,85	0,76	0,76	0,75
12,1 – 24,0	1,23	1,04	1,02	0,97	0,9	0,89	0,91
24,1 – 36,0	1,17	1,13	1	1,01	0,92	1,09	0,97
> 36,0	1,18	1,09	1,11	1,11	1,1	1,16	0,97
CEPEA*	1,25	1,25	1,25	1,25	1,25	1,25	1,25
Média	1,14	1,04	1,00	0,99	0,92	0,98	0,90
> 1º ano	---	-9%	-12%	-14%	-19%	-15%	-21%

* CT estimado pelo CEPEA para a propriedade modal da mesorregião Sul e Sudeste de MG.

Fonte: Adaptado de Rochelle (2018)

Nota-se que o custo total se manteve em queda por todo o período analisado, indicando que os investimentos feitos resultaram em aumento da produção de leite que cobriu todas as despesas e ainda gerou fluxo de caixa positivo.

4.3.2.3. Margem Líquida (ML)

A Tabela 20 contém os resultados de estimativas da margem líquida (ML, R\$ L⁻¹), que é a diferença entre receita total (RT) e Custo Operacional Total (COT). Este indicador apresentou os resultados mais relevantes, tal como se vê em sua variação ao longo do tempo de assistência técnica.

A Margem Líquida aumentou do 4º para o 7º ano (de 181% para 208%, respectivamente), e foi sempre superior à margem líquida calculada pelo CEPEA, confirmando o menor risco econômico e a maior esperança de aumento da renda para os produtores rurais, em decorrência do trabalho dos extensionistas.

Tabela 20 – Evolução da Margem Líquida (ML) e comparação com o valor modal do CEPEA para os resultados médios das propriedades

Área	Margem Líquida (ML) (R\$ L ⁻¹)						
	Tempo de assistência técnica (anos)						
	1	2	3	4	5	6	7
0,1 – 12,0	0,07	0,07	0,07	0,07	0,07	0,07	0,07
12,1 – 24,0	0,09	0,14	0,17	0,28	0,36	0,39	0,42
24,1 – 36,0	0,06	0,33	0,46	0,34	0,3	0,15	0,36
> 36,0	0,14	0,20	0,16	0,32	0,24	0,21	0,26
CEPEA	0,07	0,07	0,07	0,07	0,07	0,07	0,07
Média	0,09	0,19	0,22	0,25	0,24	0,21	0,28
> 1º ano	---	106%	139%	181%	169%	128%	208%

Fonte: Adaptado de Rochelle (2018)

4.3.3. Pagamento por Serviços Ambientais – Investimento e Retorno

Para verificar a viabilidade do investimento no fornecimento de assistência técnica como pagamento indireto no Programa “Conservador da Águas”, foram feitos os seguintes cálculos para as propriedades na Sub-bacia Ribeirão das Posses, a cada ano de assistência técnica:

- Produção de leite (PL, L ano⁻¹);
- Receita Bruta (RB, R\$ ano⁻¹ → RB = PL x Preço do leite);
- Margem Líquida (R\$ ano⁻¹ → ML = RB - CT);
- Custo dos extensionistas (*Pró-labore*);
- Arrecadação bruta de ICMS (total arrecadado com alíquota de 7%, em R\$ ano⁻¹);
- Arrecadação líquida de ICMS (diferença entre o total arrecadado e o investimento em assistência técnica).

O resultado dos cálculos é resumido nas tabelas 21 a 24.

Tabela 21 - Arrecadação estadual total e final de acordo com o ICMS já descontando o valor pago aos técnicos de acordo com a área das propriedades no 1º ano

Classe de área (ha)	Receita	ICMS	Arrecadação	Salário Técnicos/ano	Arrecadação Final 1º ano
até 12	R\$ 3.254.319,51	7%	R\$ 227.802,37		
12,1 - 24	R\$ 2.043.406,62	7%	R\$ 143.038,46	R\$ 480.000,00	R\$ 124.867,11
24,1 - 36	R\$ 823.787,26	7%	R\$ 57.665,11		
> 36	R\$ 2.519.445,36	7%	R\$ 176.361,18		

Fonte: Adaptado de Rochelle (2018)

Tabela 22 - Arrecadação estadual total e final de acordo com o ICMS já descontando o valor pago aos técnicos de acordo com a área das propriedades no 2º ano

Classe de área (ha)	Receita	ICMS	Arrecadação	Salário Técnicos/ano	Arrecadação Final 2º ano
até 12	R\$ 5.402.170,39	7%	R\$ 378.151,93		
12,1 - 24	R\$ 3.024.241,80	7%	R\$ 211.696,93	R\$ 480.000,00	R\$ 392.073,76
24,1 - 36	R\$ 1.260.394,50	7%	R\$ 88.227,62		
> 36	R\$ 2.771.389,90	7%	R\$ 193.997,29		

Fonte: Adaptado de Rochelle (2018)

Tabela 23 - Arrecadação estadual total e final de acordo com o ICMS já descontando o valor pago aos técnicos de acordo com a área das propriedades no 3º ano

Classe de área (ha)	Receita	ICMS	Arrecadação	Salário Técnicos/ano	Arrecadação Final 3º ano
até 12	R\$ 7.582.564,46	7%	R\$ 530.779,51		
12,1 - 24	R\$ 4.066.379,17	7%	R\$ 284.646,54	R\$ 480.000,00	R\$ 642.514,28
24,1 - 36	R\$ 1.565.195,79	7%	R\$ 109.563,71		
> 36	R\$ 2.821.778,81	7%	R\$ 197.524,52		

Fonte: Adaptado de Rochelle (2018)

Tabela 24 - Arrecadação estadual total e final de acordo com o ICMS já descontando o valor pago aos técnicos de acordo com a área das propriedades no 4º ano

Classe de área (ha)	Receita	ICMS	Arrecadação	Salário Técnicos/ano	Arrecadação Final 4º ano
até 12	R\$ 8.363.601,14	7%	R\$ 585.452,08		
12,1 - 24	R\$ 5.271.989,08	7%	R\$ 369.039,24	R\$ 480.000,00	R\$ 861.215,79
24,1 - 36	R\$ 1.795.856,22	7%	R\$ 125.709,94		
> 36	R\$ 3.728.779,14	7%	R\$ 261.014,54		

Fonte: Adaptado de Rochelle (2018)

Nas condições da simulação feita, o custo anual com os extensionistas seria de R\$ 480.000,00. Se tal pagamento fosse descontado da arrecadação estadual, a arrecadação líquida no primeiro ano de assistência técnica seria de R\$ ano⁻¹ 124.867,11 (Tabela 21). Esse valor é um incremento à arrecadação estadual, gerado a partir do trabalho dos extensionistas.

No segundo ano, a arrecadação líquida subiria para R\$ ano⁻¹ 392.073,76 (Tabela 22); no terceiro ano seria de R\$ 642.514,28 (Tabela 23) e quarto ano, chegaria a R\$ ano⁻¹ 861.215,79 (Tabela 24). Em apenas quatro (4) anos a arrecadação estadual teria um aumento líquido de 689,71%, após o pagamento dos técnicos extensionistas.

Por sua vez, a margem líquida dos produtores seria de R\$ 1.829.731,23 no primeiro ano; R\$ 3.765.110,54 no segundo ano; R\$ 5.107.936,72 no terceiro ano e R\$ 6.360.472,06 no quarto ano. Esses valores representam um aumento de próximo de 250%.

5. CONCLUSÕES

O treinamento técnico é essencial para as boas práticas aplicadas à irrigação de pastagens. Bons projetos só podem ser concebidos por profissionais capacitados.

Treinamentos de curta duração devem ser sucedidos por monitorias e assessoramento de médio a longo prazo, para melhorar os resultados.

Além dos benefícios da irrigação em si, os sistemas de irrigação podem ter múltiplas utilidades, tais como o monitoramento das pastagens, fertirrigação, quimigação, bioirrigação e o uso da estrutura metálica aérea de pivôs centrais como área de sombra, dessedentação e nebulização de animais ruminantes na pastagem.

A geração de renda em propriedades ligadas à produção animal é fundamental para o sucesso de sistemas de pagamento por serviços ambientais.

O treinamento e a contratação de extensionistas capacitados à orientação de produtores para intensificação de sistemas de produção agropecuária deve ser considerada como investimento prioritário em sistemas de pagamento por serviços ambientais.

6. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

BRASIL. Ministério da Integração Nacional. **Análise territorial para o desenvolvimento da agricultura irrigada no Brasil**. Brasília, DF, 2014. 215 p.

CAMARGO, A. C.; NOVAES, N. J.; NOVO, A. L. M.; MENDONÇA, F. C.; MANZANO, A.; ESTEVES, S. N.; PAGANI NETO, C.; QUINAGLIA NETO, P.; DIAS, A. T. F. F.; SANTOS JUNIOR, H. A.; RIBEIRO, W. M.; FARIA, V. P. Projeto Balde Cheio: Transferência de tecnologia na produção leiteira - Estudo de caso do sítio Boa Vista, de Elisiário, SP. São Carlos: Embrapa Pecuária Sudeste, 2006a. 8p. (Embrapa Pecuária Sudeste, Comunicado Técnico 71).

CAMARGO, A. C.; NOVAES, N. J.; NOVO, A. L. M.; MENDONÇA, F. C.; MANZANO, A.; ESTEVES, S. N.; STIVARI, A.; MORICHITA, O.; KATAYAMA, L.; RIBEIRO, W. M.; FARIA, V. P. Projeto Balde Cheio: Transferência de tecnologia na produção leiteira - Estudo de caso da chácara São Francisco, de Flórida Paulista, SP. São Carlos: Embrapa Pecuária Sudeste, 2006b. 8p. (Embrapa Pecuária Sudeste, Comunicado Técnico 72).

CAMARGO, A. C.; NOVAES, N. J.; NOVO, A. L. M.; MENDONÇA, F. C.; MANZANO, A.; ESTEVES, S. N.; STIVARI, A.; NISHIDA, A. T.; KAKIDA, Y.; SENA, M. S.; SINICIATO, J. A. B.; SANTOS, F. L.; FERNANDES, J. E. S.; UMEHARA, E.; RIBEIRO, W. M.; FARIA, V. P. Projeto Balde Cheio: Transferência de tecnologia na produção leiteira - Estudo de caso do sítio São Carlos, de Irapuru, SP. São Carlos: Embrapa Pecuária Sudeste, 2006c. 8p. (Embrapa Pecuária Sudeste, Comunicado Técnico 73).

CAMARGO, A. C.; NOVAES, N. J.; NOVO, A. L. M.; MENDONÇA, F. C.; MANZANO, A.; ESTEVES, S. N.; FAVARETO, M. R. M.; MARQUES, W.; TOSCANO, J. F.; SANCHES, I. C.; RIBEIRO, W. M.; FARIA, V. P. Projeto Balde Cheio: Transferência de tecnologia na produção leiteira - Estudo de caso do sítio São José, de Nhandeara, SP. São Carlos: Embrapa Pecuária Sudeste, 2006d. 8p. (Embrapa Pecuária Sudeste, Comunicado Técnico 74).

CAMARGO, A. C.; NOVAES, N. J.; NOVO, A. L. M.; MENDONÇA, F. C.; MANZANO, A.; ESTEVES, S. N.; STIVARI, A.; VICENTE, J. M.; SEGUNDO, M. A. F.; ROSSETTI, R. C.; RIBEIRO, W. M.; FARIA, V. P. Projeto Balde Cheio: Transferência de tecnologia na produção leiteira - Estudo de caso do sítio São João, de Monte Castelo, SP. São Carlos: Embrapa Pecuária Sudeste, 2006e. 8p. (Embrapa Pecuária Sudeste, Comunicado Técnico 75).

DOMIT, L. A.; ADEGAS, F.; DALBOSCO, M.; GOMES, C.; OLIVEIRA, A. B.; CAMPANINI, S. **Manual de implantação do treino e visita (T&V)**. Londrina: Embrapa Soja, 2007. (Embrapa Soja. Documentos, 288). Disponível em: <<https://www.infoteca.cnptia.embrapa.br/bitstream/doc/470265/1/ManualdeimplantacaodotreinoevisitaVT.pdf>>. Acesso em: 12/01/2020.

DUARTE, J. A. M. Comunicação e tecnologia na cadeia produtiva da soja em MT. São Bernardo do Campo: Universidade Metodista de São Paulo, 2004. 242 p. Tese (Doutorado em Comunicação Social). Disponível em: <<http://tede.metodista.br/jspui/bitstream/tede/812/1/TeseJorgeDuarte.pdf>>. Acesso em: 12/01/2020.

FUJISAKA, S. Learning from six reasons why farmers do not adopt innovations intended to improve sustainability of upland agriculture. **Agricultural Systems**, Barking, v. 46, n. 4, p. 409-425, Apr. 1994.

IBGE. Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística. **Cidades e Estados**. Disponível em: <<https://www.ibge.gov.br/cidades-e-estados/mg/extrema.html>>. Acesso em: 08/04/2020.

JANNUZZI, C. A. **Informação tecnológica e para negócios no Brasil: conceitos e terminologia**. Campinas: Alínea, 2002. 134 p.

LIMA, G. C. **Variabilidade espacial dos atributos físicos e químicos e índice de qualidade dos solos da sub-bacia das Posses, Extrema (MG) sob diferentes agroecossistemas**. 2013.140f. Tese (Doutorado em Recursos Ambientais e Uso da Terra) – Universidade Federal de Lavras - UFLA, Lavras, MG, 2013.

NOVO, A. L. M.; CAMARGO, A. C. Alternativas inovadoras para otimizar a transferência de tecnologia para a agricultura familiar. In: SIMPÓSIO SOBRE BOVINOCULTURA LEITEIRA, 5, Piracicaba, 2006. **Anais...** Piracicaba: FEALQ, 2006. p. 57-68.

NOVO, A. L. M.; SCHIFFLER, E. A. **Princípios básicos para a produção econômica de leite**. São Carlos: Embrapa Pecuária Sudeste, 2006. 33 p. (Embrapa Pecuária Sudeste. Documentos, 49). Disponível em: <<https://www.infoteca.cnptia.embrapa.br/infoteca/bitstream/doc/46407/1/Documentos49.pdf>> Acesso em 05/02/2020.

NOVO, A., JANSEN, K.; SLINGERLAND, M.; GILLER, K. Biofuel, dairy production and beef in Brazil: competing claims on land use in São Paulo state. **The Journal of Peasant Studies**, v. 37, n. 4, p. 769-792, 2010.

ONU. Organização das Nações Unidas. Disponível em: <http://www.onu.org.br/rio20/agua.pdf> Acesso em: 08/04/2020.

RISTOW, G. As características que fazem da Nova Zelândia a maior exportadora de lácteos do mundo. Piracicaba: MilkPoint, 2018 (Artigo online). Disponível em: <<https://www.milkpoint.com.br/colunas/leite-no-mundo/as-caracteristicas-que-fazem-da-nova-zelandia-a-maior-exportadora-de-lacteos-do-mundo-206529/>>. Acesso em 14/02/2020.

ROCHELLE, A. T. F. A. **Geração potencial de renda em sistemas de produção de leite a pasto na sub-bacia do Ribeirão das Posses, MG**. 2018. Dissertação (Mestrado em Engenharia de Sistemas Agrícolas) - Escola Superior de Agricultura Luiz de Queiroz, Universidade de São Paulo, Piracicaba, 2018. doi:10.11606/D.11.2018.tde-03052018-101550. Acesso em: 2020-04-15.

THE NATURE CONSERVANCY – TNC. Produtor de Água no PCJ. Pagamento por Serviços Ambientais - lições aprendidas e próximos passos, 2015. Disponível em: <<https://www.tnc.org.br/quem-somos/publicacoes/produtor-de-agua-pcj-licoes-aprendidas.pdf>>. Acesso em: 08/04/2020.

VIEIRA, O. V. **Marketing tecnológico: uma ferramenta de transferência de tecnologia: a experiência da Embrapa Soja**. Londrina: Embrapa Soja, 2003. 24 p. (Embrapa Soja. Documentos, 207). Disponível em: <<https://www.infoteca.cnptia.embrapa.br/infoteca/bitstream/doc/453914/1/Documentos207.pdf>>. Acesso em: 11/01/2020.

VIEIRA, O. V.; OLIVEIRA, M. F.; DOMIT, L. A. **Treino e visita: experiência da Embrapa Soja e da iniciativa privada na transferência de tecnologia**. **Cadernos de Ciência & Tecnologia**, Brasília, v. 21, n. 2, p.265-278, maio/ago. 2004. Disponível em: <<http://seer.sct.embrapa.br/index.php/cct/article/viewFile/8711/4895>>. Acesso em: 10/01/2020.