UNIVERSIDADE DE SÃO PAULO
FACULDADE DE MEDICINA VETERINÁRIA E ZOOTECNIA

TÁISLA INARA NOVELLI

**Impacto de intervenções nutricionais no valor da pegada hídrica do
produto leite bovino**

Pirassununga

2017

TÁISLA INARA NOVELLI

**Impacto de intervenções nutricionais no valor da pegada hídrica do
produto leite bovino**

Versão Original

Dissertação apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Nutrição e Produção Animal da Faculdade de Medicina Veterinária e Zootecnia da Universidade de São Paulo para obtenção do título de Mestre em Ciências

Departamento:

Nutrição e produção animal

Área de concentração:

Nutrição e produção animal

Orientador:

Prof. Dr. Julio Cesar Pascale Palhares

Pirassununga

2017

Autorizo a reprodução parcial ou total desta obra, para fins acadêmicos, desde que citada a fonte.

DADOS INTERNACIONAIS DE CATALOGAÇÃO NA PUBLICAÇÃO

(Biblioteca Virginie Buff D'Ápice da Faculdade de Medicina Veterinária e Zootecnia da Universidade de São Paulo)

T. 3566
FMVZ

Novelli, Táisia Inara
Impacto de intervenções nutricionais no valor da pegada hídrica do produto leite bovino. / Táisia Inara Novelli. -- 2017.
112 p. : il.

Dissertação (Mestrado) - Universidade de São Paulo. Faculdade de Medicina Veterinária e Zootecnia. Departamento de Nutrição e Produção Animal, Pirassununga, 2017.

Programa de Pós-Graduação: Nutrição e Produção Animal.

Área de concentração: Nutrição e Produção Animal.

Orientador: Prof. Dr. Julio Cesar Pascale Palhares.

1. Balanço de nutrientes. 2. Cisterna. 3. Irrigação. 4. Poluição difusa. 5. Proteína. I.
Título.

CERTIFICADO

Certificamos que a proposta intitulada "Impacto de intervenções nutricionais no valor da pegada hídrica do produto leite bovino", protocolada sob o CEUA nº 2267191017, sob a responsabilidade de **Julio Cesar Pascale Palhares e equipe; Julio Cesar Pascale Palhares; Taisla Inara Novelli** - que envolve a produção, manutenção e/ou utilização de animais pertencentes ao filo Chordata, subfilo Vertebrata (exceto o homem), para fins de pesquisa científica ou ensino - está de acordo com os preceitos da Lei 11.794 de 8 de outubro de 2008, com o Decreto 6.899 de 15 de julho de 2009, bem como com as normas editadas pelo Conselho Nacional de Controle da Experimentação Animal (CONCEA), e foi **aprovada** pela Comissão de Ética no Uso de Animais da Faculdade de Medicina Veterinária e Zootecnia da Universidade de São Paulo (CEUA/FMVZ) na reunião de 25/10/2017.

We certify that the proposal "Impact of nutritional management on the dairy milk water footprint", utilizing 14 Bovines (14 females), protocol number CEUA 2267191017, under the responsibility of **Julio Cesar Pascale Palhares and team; Julio Cesar Pascale Palhares; Taisla Inara Novelli** - which involves the production, maintenance and/or use of animals belonging to the phylum Chordata, subphylum Vertebrata (except human beings), for scientific research purposes or teaching - is in accordance with Law 11.794 of October 8, 2008, Decree 6899 of July 15, 2009, as well as with the rules issued by the National Council for Control of Animal Experimentation (CONCEA), and was **approved** by the Ethic Committee on Animal Use of the School of Veterinary Medicine and Animal Science (University of São Paulo) (CEUA/FMVZ) in the meeting of 10/25/2017.

Finalidade da Proposta: **Pesquisa**

Vigência da Proposta: de **03/2015** a **03/2016**

Área: **Nutrição E Produção Animal**

Origem: **Animais provenientes de outros projetos**

Espécie: **Bovinos**

sexo: **Fêmeas**

idade: **3 a 7 anos**

N: **8**

Linhagem: **Holandesa**

Peso: **416 a 828 kg**

Origem: **Animais provenientes de outros projetos**

Espécie: **Bovinos**

sexo: **Fêmeas**

idade: **3 a 7 anos**

N: **6**

Linhagem: **Jersey**

Peso: **416 a 828 kg**

Resumo: Em qualquer fórum nacional ou internacional em que esteja sendo discutida a competitividade da pecuária brasileira, o recurso natural que aparece como grande diferencial de competitividade é a água. O Brasil é rico no recurso, preservá-lo e conservá-lo em quantidade e qualidade é estratégico para manutenção dessa competitividade. Historicamente, a relação da agroindústria pecuária brasileira com a água é de exploração do recurso. Isso se deve a perpetuação da ideia de que o país tem abundância hídrica. Tendo como referência o ano de 2010, a vazão de água efetivamente consumida no país, que representa 51% da vazão de retirada, mostrou que 72% corresponderam à demanda de irrigação e 11% da dessedentação animal (ANA, 2012). Destaca-se que em algumas regiões hidrográficas a demanda da pecuária é significativa: Paraguai, 41%; Amazônica, 32%; Nordeste Ocidental, 18%; Tocantins-Araguaia, 16%; Atlântico Leste, 8%; Paraná, Uruguai e Parnaíba, 5%. O Brasil já ocupa as posições de maior produtor e exportador de carne bovina do mundo e tem apresentado índices produtivos crescentes na produção de leite. Estudos da FAO, OECD e Banco Mundial projetam o país como o maior produtor de proteína animal do mundo, posição a ser atingida nos próximos dez anos. Estas mesmas instituições criaram o termo "Revolução da Produção Animal" para definir a mudança que está ocorrendo ao redor do planeta, que entre suas inúmeras características, apresenta uma forte tendência de migração das produções animais dos países desenvolvidos para os em desenvolvimento. Um dos principais motivos para esta migração é a disponibilidade de recursos naturais nos países em desenvolvimento, sendo a água o recurso de maior interesse. Segundo o Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento (2013) no ano de 2012 foram abatidos 31 milhões de cabeças bovinas no país. As projeções mostram que esse setor deve apresentar intenso crescimento nos próximos anos. No período 2013 a 2023 o setor deve crescer 2,0% ao ano. O leite foi considerado como um dos produtos que apresenta elevadas possibilidades de crescimento. A produção deverá crescer a uma taxa anual de 1,9%. Isso corresponde a uma produção de 38,2 bilhões de litros de leite cru no final do período das projeções. A taxa de crescimento da produção é superior à observada para o crescimento da população brasileira. A pegada hídrica de um produto é definida como o volume de água consumido, direta e indiretamente para produzir o produto. A principal vantagem do método frente a outras métricas é que ele calcula a água efetivamente consumida e não a água captada, além de inserir o cálculo das águas verde e cinza (Hoekstra et al., 2011). A pegada é uma medida volumétrica do consumo de água. Ela se propõe a ser uma ferramenta analítica, auxiliando no entendimento de como o produto se relaciona com a escassez hídrica. A proposição de cálculo da pegada hídrica surgiu no início do século (2001/2002). O cálculo diferencia a demanda de água verde (água da chuva, não considerando a água que escorre ou infiltra a qual não é utilizada pela cultura agrícola); água azul (extraída de fontes superficiais e subterrâneas e utilizada na irrigação das culturas, dessedentação dos animais

e serviços); água cinza (definida como o volume de água necessário para diluir os efluentes da atividade pecuária, considerando os padrões ambientais e legais dos corpos d'água). Portanto, a pegada hídrica é composta por componentes indiretos (água utilizada na produção dos alimentos) e diretos (água consumida na dessedentação e serviços). A pegada pode ser expressa em: m³/an.

Local do experimento: O sistema de produção referência para o cálculo da pegada hídrica e do balanço de nutrientes foi o de produção de leite intensiva a pasto. Este sistema faz parte do Sistema de Produção de Leite (SPL) da Embrapa Pecuária Sudeste, localizada no município de São Carlos, Estado de São Paulo. A área do SPL é de aproximadamente 60 ha, sendo que em torno de 8,6 ha são de pastagens adubadas (das quais 7,4 irrigadas), 18,7 ha de pastagens não adubadas (esta área não tem sido utilizada integralmente com o rebanho leiteiro), 4,5 ha de área de descanso com sombra, 1,0 ha de benfeitorias e 10,0 ha de mata nativa. Anualmente, é cultivada uma área de 17,2 ha para a produção de milho para ensilagem, sendo parte na área útil do SPL e parte em áreas adjacentes ao sistema. O manejo dos efluentes é realizado a partir do seguinte arranjo: passagem do efluente por um sistema de peneira de limpeza automática (Modelo: PAC 1000, com escovas de piaçava e abertura de 2,0 mm), esterqueira (impermeabilizada com lona de PVC, capacidade de 270 m³ e tempo de residência de 30 dias), sistema de fertirrigação em área de pastagem.

São Paulo, 25 de outubro de 2017

Profa. Dra. Anneliese de Souza Traldi

Presidente da Comissão de Ética no Uso de Animais

Faculdade de Medicina Veterinária e Zootecnia da Universidade
de São Paulo

Claudia Madalena Cabrera Mori

Vice-Presidente

Faculdade de Medicina Veterinária e Zootecnia da Universidade
de São Paulo

FOLHA DE AVALIAÇÃO

Autor: NOVELLI, Táisla Inara

Título: **Impacto de intervenções nutricionais no valor da pegada hídrica do produto leite bovino**

Dissertação apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Nutrição e Produção Animal da Faculdade de Medicina Veterinária e Zootecnia da Universidade de São Paulo para obtenção do título de Mestre em Ciências

Data: ____/____/____

Banca Examinadora

Prof. Dr. _____

Instituição: _____ Julgamento: _____

Prof. Dr. _____

Instituição: _____ Julgamento: _____

Prof. Dr. _____

Instituição: _____ Julgamento: _____

Às futuras gerações do meu país

Dedico

AGRADECIMENTOS

Ao meu orientador Prof. Dr. Julio Cesar Pascale Palhares, por muito me ensinar e contribuir para o meu desenvolvimento científico e intelectual.

À Faculdade de Medicina Veterinária e Zootecnia pela oportunidade de realização do curso de mestrado.

Ao CNPq (Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico), pela concessão da bolsa de mestrado e apoio financeiro que permitiu a realização desta pesquisa (Processo 404243/2013 – 4).

À Embrapa Pecuária Sudeste, por disponibilizar a área experimental no sistema de leite e os laboratórios.

Aos pesquisadores da Embrapa, Dr. André Luiz Monteiro Novo e Dra. Teresa Cristina Alves, pela colaboração no desenvolvimento das dietas experimentais.

Ao Dr. Waldomiro Barioni Junior, pela elucidação das dúvidas e ajuda com as análises estatísticas.

Aos funcionários do sistema de produção de leite da Embrapa Pecuária Sudeste, pela contribuição com o manejo dos animais.

À minha companheira de equipe e amiga, Marcela Morelli, com quem pude contar com a ajuda em todas as atividades realizadas no campo e laboratório.

Aos meus familiares, pelo incentivo concedido desde o início.

RESUMO

NOVELLI, T. I. **Impacto de intervenções nutricionais no valor da pegada hídrica do produto leite bovino**. [Impact of nutritional management on the dairy milk water footprint]. 2017. 112p. Dissertação (Mestrado em Ciências) – Faculdade de Medicina Veterinária e Zootecnia, Universidade de São Paulo, Pirassununga, 2017.

O objetivo do trabalho foi avaliar o impacto de intervenções nutricionais no valor da pegada hídrica do produto leite bovino. O cálculo da pegada hídrica considerou as águas verde, azul e cinza, consumidas no sistema de produção e no beneficiamento do produto. Para determinação dos consumos de água no sistema de produção foram selecionados dois grupos experimentais, cada um contendo sete vacas em lactação. As dietas fornecidas a cada grupo continha os mesmos ingredientes. Porém, na composição do concentrado havia diferentes percentuais proteicos. O concentrado fornecido ao Grupo 1, continha 20% de proteína bruta, e o concentrado fornecido ao Grupo 2, tinha seu teor de proteico ajustado de acordo com a produção de leite do grupo, ao longo da lactação. O ajuste do teor de proteína da dieta as necessidades dos animais promoveu a redução dos consumos das águas verde, azul e cinza e da pegada hídrica do produto leite. A pegada hídrica do Grupo 1 com base no nitrato foi de 503,79 L kg⁻¹ de FPCM (86,1% água verde, 13,4% água azul e 0,43% água cinza) e a do Grupo 2 foi de 452,59 L kg⁻¹ de FPCM (85,3% água verde, 14,3% água azul e 0,45% água cinza). Com base no fósforo, a pegada total do Grupo 1 foi igual a 518,43 L kg⁻¹ de FPCM (83,7% água verde, 13,1% água azul e 3,2% água cinza) e a do Grupo 2 foi de 465,16 L kg⁻¹ de FPCM (83% água verde, 13,9 % água azul e 3,1% água cinza). Entre as três águas, a verde foi a que apresentou maior consumo, atestando a importância da eficiência hídrica na agricultura para os produtos de origem animal. A prática de irrigação das pastagens representou o maior consumo de água azul. O Grupo 2 apresentou melhor eficiência de uso de nutrientes, mas em ambos os grupos as entradas foram maiores que as saídas. O balanço do Grupo 1 foi de 962,7 kg de N, 95,2 kg de P e 545,1 kg de K e do Grupo 2, 869,4 kg de N, 57,8 kg de P, 601,9 kg de K. A captação de água de chuva por cisterna foi avaliada como uma tecnologia hídrica. Essa demonstrou ter impacto positivo na redução do volume de água captado de fonte natural, mas a análise financeira da tecnologia se mostrou inviável para a condição produtiva do

estudo. A utilização de intervenções nutricionais que promovam o melhor aproveitamento dos nutrientes pelos animais demonstrou ser uma prática que também contribui para melhoria da eficiência hídrica do sistema de produção e dos produtos de origem animal. Estudos que relacionam o cálculo da pegada hídrica com os aspectos produtivos da pecuária promoverão impactos positivos na conservação dos recursos hídricos e no desempenho dos sistemas de produção.

Palavras chave: Balanço de nutrientes. Cisterna. Irrigação. Poluição difusa. Proteína.

ABSTRACT

NOVELLI, T. I. **Impact of nutritional management on the dairy milk water footprint**. [Impacto de intervenções nutricionais no valor da pegada hídrica do produto leite bovino]. 2017. 112 p. Dissertação (Mestrado em Ciências) – Faculdade de Medicina Veterinária e Zootecnia, Universidade de São Paulo, Pirassununga, 2017.

The aim of the study was to evaluate the impact of nutritional interventions on the dairy milk water footprint. Water footprint calculation considered the green, blue and gray water consumed in the production system and in the dairy unit. To determine the water consumption in the production system was selected two experimental groups with seven lactating cows each. The diets provided to each group contained the same feeds. However, concentrate had different crude protein contents. The concentrate feed Group 1 contained 20% of crude protein, and the concentrate feed Group 2 had its protein content adjusted according to the milk production of the group. The adjustment of the protein content promoted a lower consumption of green, blue and gray water and the reduction of water footprint value. The water footprint based on nitrate in the Group 1 was 503.79 L kg⁻¹ of FPCM (86.1% green water, 13.4% blue water, and 0.43% gray water) and in the Group 2 was 452.59 L kg⁻¹ FPCM (85.3% green water, 14.3% blue water, and 0.45% gray water). Water footprint based on phosphorus was 518.43 L kg⁻¹ of FPCM to Group 1 (83.7% green water, 13.1% blue water, and 3.2% gray water) and to Group 2 was 465.16 L kg⁻¹ of FPCM (83% green water, 13.9% blue water, and 3.1% gray water). Green was the highest volume consumed. This shows the relation between agriculture water efficiency and the water footprint of animal products. Irrigation represented the highest consumption of blue water. The nutrient use efficiency was better to Group 2, but in both groups the inputs were higher than the outputs. The nutrient balance for Group 1 was 962.7 kg N, 95.2 kg P and 545.1 kg K and for Group 2, 869.4 kg N, 57.8 kg P, 601.9 kg of K. Rainwater harvesting in a cistern was evaluated as a water technology. It had a positive impact on reducing the withdraw from ground source, but the economic analysis of the cistern was unfeasible for the productive condition. The use of nutritional interventions for lactating cows promoted better nutrient utilization and has proved to be a management that contributes to the increase of

water efficiency in the production system and to animal products. Studies that relate the water footprint with productive aspects of livestock will promote positive impacts on the water conservation and on the performance of production systems.

Keywords: Cistern. Nutrient balances. Cistern. Irrigation. Diffuse pollution. Protein.

LISTA DE FIGURAS

Figura 1 -	Sistema de produção de leite Intensivo a pasto da Embrapa Pecuária Sudeste	44
Figura 2 -	Hidrômetros da sala de ordenha	50
Figura 3 -	Bebedouro eletrônico e área experimental	51
Figura 4 -	Hidrômetro digital no bebedouro do pasto	52
Figura 5 -	Cisterna de armazenamento de água da chuva captada pelo telhado da sala de ordenha	56

LISTA DE GRÁFICOS

Gráfico 1 -	Percentuais de água azul nos valores da pegada hídrica dos Grupos.	67
Gráfico 2 -	Acompanhamento do desempenho produtivo na curva de lactação	69
Gráfico 3 -	Consumo de água individual no bebedouro eletrônico	69
Gráfico 4 -	Perfil da temperatura ambiente ao longo do período de lactação	71
Gráfico 5 -	Consumo de água em função da temperatura média	71

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 -	Valores de pegada hídrica para o produto leite bovino	34
Tabela 2 -	Parâmetros dos animais selecionados para composição dos Grupos experimentais	43
Tabela 3 -	Valores de pegada hídrica e consumo por tipo de água e porcentagem nos Grupos experimentais	61
Tabela 4 -	Pegada hídrica verde, consumo de água verde e água nos produtos.	62
Tabela 5 -	Ingestão de matéria seca total durante o período de lactação	63
Tabela 6 -	Pegada hídrica cinza baseada nos elementos nitrato e fósforo total...	75
Tabela 7 -	Análise de investimento da implantação do sistema de captação de água da chuva no sistema de produção de estudo	80
Tabela 8 -	Balanços de nutrientes por grupo experimental, referente ao período de estudo	82
Tabela 9 -	Médias e medianas de eficiência de uso dos nutrientes (EUN) por grupo experimental	84

LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

ABNT	Associação Brasileira de Normas Técnicas;
CBH-TJ	Comitê de Bacia Hídrica do Rio Tietê Jacaré;
Conab	Companhia Nacional de Abastecimento;
CQBAL	Tabelas brasileira de Composição química de alimentos para bovinos;
EUN	Eficiência de Uso de Nutrientes;
FAO	Organização das Nações Unidas para Agricultura e Alimentação;
FPCM	Do Inglês, fat protein-corrected milk (gordura e proteína corrigida no leite);
IBGE	Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística;
IN	Instrução Normativa;
INMET	Instituto Nacional de Meteorologia;
Kc	Coeficiente de cultivo
MS	Matéria Seca;
NBR	Normas Brasileiras;
NRC	National Research Council;
PB	Proteína Bruta;
RIISPOA	Regulamento de Inspeção Industrial e Sanitária de Produtos de Origem Animal;
SIDRA	Sistema IBGE de Recuperação Automática;
WFN	Water Footprint Network;

LISTA DE SÍMBOLOS

N	Elemento químico Nitrogênio
P	Elemento químico Fósforo
K	Elemento químico Potássio
Ca	Elemento químico Cálcio
h	Unidade de tempo hora
t	Unidadde de massa tonelada

SUMÁRIO

1 INTRODUÇÃO	27
1.1.1 Objetivos	28
1.1.2 Objetivo geral	28
1.1.2.1 Objetivos específicos.....	29
2 REVISÃO DE LITERATURA	30
2.1 Aspectos econômicos e sociais da bovinocultura de leite	30
2.2 A pegada hídrica na produção leiteira animal	32
2.3 Manejo nutricional e sua relação com o manejo ambiental	37
2.4 Captação de água de chuva em sistemas de produção animal	39
3 MATERIAIS E MÉTODOS	42
3.1 Cálculo das pegadas hídricas	42
3.1.1 Pegada hídrica verde	45
3.1.2 Pegada hídrica azul.....	48
3.1.2.1 Índice de escassez de água azul.....	52
3.1.3 Pegada hídrica cinza	53
3.2 Proposição de ação mitigadora: uso de cisterna como fonte de água alternativa e análise do investimento.....	55
3.3 Cálculo do balanço de nutrientes a partir da manipulação do teor de proteína bruta da dieta.....	58
4 RESULTADOS E DISCUSSÃO	60
4.1 Água verde.....	61
4.2 Água azul	66
4.2.1 Índice de escassez.....	73
4.3 Água cinza	74

4.4 Análise do investimento da cisterna como fonte de água alternativa	77
4.5 Balanço de nutrientes	81
5 CONCLUSÕES	88
REFERÊNCIAS	89
APÊNDICES.....	101

1 INTRODUÇÃO

A crescente população mundial, que totalizava 6,6 bilhões de pessoas em 2010 e com projeção para 9,2 bilhões em 2050; o aumento per capita da demanda por energia nos alimentos, de 2.850 kcal/dia em 2010 para 3.130 kcal/dia em 2050; a crescente participação de produtos de origem animal nas dietas, principalmente nos países em desenvolvimento, são fenômenos que acarretarão um forte aumento na demanda por recursos naturais (UNDP, 2006). Mesmo sem considerar os efeitos das mudanças climáticas, a disponibilidade de água deverá diminuir em 50% em 2050, devido, unicamente, ao crescimento populacional (RINGLER et al., 2010).

O principal aumento do consumo será dado na agricultura, devido à melhoria na qualidade dos alimentos e ao aumento da participação das proteínas animais nas dietas (MIODUSZEWSKI, 2009). O uso da água na pecuária ainda é baixo quando comparado com o uso de água pela agricultura. No entanto, com o crescimento da atividade nos países em desenvolvimento, projeta-se um aumento no consumo global de mais de 50% até o ano de 2025 (ROSEGRANT et al., 2002).

Segundo o Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento o leite é um dos produtos que apresenta elevadas possibilidades de crescimento. A produção deverá crescer a uma taxa anual entre 2,4 e 3,3%. Isso corresponde a uma produção de 47.474 milhões de litros de leite cru no final do período das projeções de 2025 (MAPA/AGE, 2015).

A bovinocultura de leite possui relevância econômica e social. A econômica reporta-se aos atributos de renda, propiciados pela geração de empregos diretos ou indiretos. A social refere-se à melhoria da qualidade de vida e inserção das pessoas nos processos produtivos. Os aspectos econômicos e sociais devem ser integrados aos de qualidade ambiental para que a atividade almeje alcançar as condições de sustentabilidade (MARTINS et al., 2015).

A diversidade dos sistemas produtivos animais e suas interações fazem com que as análises entre pecuária e uso da água sejam complexas e muitas vezes contraditórias (FAO, 2006). Devido a fatos como esses, as instituições, sejam em países desenvolvidos ou em desenvolvimento, não têm dado a devida importância para este setor a fim de regular as questões hídricas da atividade. Além disto, as políticas públicas para o setor não acompanham o rápido desenvolvimento

tecnológico e crescimento das produções. Assim, as leis e programas ambientais são implementados após consideráveis danos ambientais (PALHARES, 2008).

O método de pegada hídrica proposto por Hoekstra et al. (2011), considera o consumo de água ao longo da cadeia produtiva e mostra-se adequado para explicitar a eficiência hídrica dos produtos de origem animal, estabelecendo indicadores de uso direto e indireto da água. A pegada hídrica nada mais é do que, o volume de água utilizado para produzir o produto ao longo de toda cadeia produtiva. Além disto, é um indicador multidimensional, que mostra os volumes de consumo de água por fonte, podendo ser relacionado à temporalidade desses usos.

A Instrução Normativa nº 62, de 29 de dezembro de 2011 recomenda para produção de bovinos de leite que o abastecimento de água deve assegurar um volume total disponível correspondente à soma de 100 L por animal a ordenhar e 6 L para cada litro de leite produzido (BRASIL, 2011).

A bovinocultura de leite é uma atividade intensiva no uso de água. Esse fato justifica a relevância da gestão do recurso que deve estar inserida nas atividades cotidianas dos atores da cadeia de produção, visando uma melhor eficiência no uso da água.

A atividade enfrenta e enfrentará desafios hídricos relacionados à escassez quantitativa do recurso e/ou a padrões de qualidade que impeçam o uso direto da água. Assim, se faz necessário quantificar o consumo por meio de métricas robustas que se proponham a superar os desafios em questão, utilizando abordagens multidisciplinares para proporcionar uma base de dados sólida. Desta forma, se terá cenários para condições reais de produção, possibilitando a tomada de decisão de forma mais assertiva.

1.1.1 Objetivos

1.1.2 Objetivo geral

O objetivo principal desta pesquisa foi avaliar o impacto de intervenções nutricionais no valor da pegada hídrica do produto leite bovino.

1.1.2.1 Objetivos específicos:

- a) Estabelecer um sistema de produção de leite intensiva a pasto, como referencial para disponibilização de dados relacionados aos usos diretos e indiretos das águas;
- b) Estabelecer uma unidade industrial de referência para avaliação do uso da água no processamento e beneficiamento do produto leite;
- c) Avaliar como o teor de proteína bruta da dieta de vacas em lactação impacta os valores das pegadas verde, azul e cinza;
- d) Avaliar a eficiência de uso dos elementos nitrogênio, fósforo e potássio de vacas em lactação;
- e) Avaliar a viabilidade financeira do investimento da tecnologia de cisterna.

2 REVISÃO DE LITERATURA

A disponibilidade hídrica do local, o comportamento humano e das atividades econômicas em relação ao consumo de água e os valores ambientais da sociedade, são aspectos que demonstram a transversalidade da temática hídrica. Também a escassez hídrica, em termos de quantidade e qualidade, é uma questão preocupante para garantia da segurança alimentar e dos alimentos para sociedade.

A fim de se estabelecer as relações do produto leite bovino com o consumo de água, os seguintes temas serão abordados nesta revisão de literatura: aspectos econômicos e sociais da bovinocultura de leite, pegada hídrica na produção leiteira, manejo nutricional e sua relação com o manejo ambiental, e captação de água de chuva em sistemas de produção animal.

2.1 Aspectos econômicos e sociais da bovinocultura de leite

De acordo com a FAO (2013a), existe uma tendência de crescimento no consumo global de alimentos, em particular de alimentos de origem animal, em função do aumento de renda da população e do processo de urbanização. Pesquisa de orçamento familiar realizada em 2002-2003 pelo IBGE verificou a tendência descrita, quanto maior o rendimento em salários mínimos, maior a participação das proteínas de origem animal na dieta da família. Também se identificou a maior participação do leite e derivados na dieta da população do meio urbano, comparado ao meio rural (IBGE, 2004).

No mundo existem mais de 6 bilhões de consumidores de leite e produtos lácteos (IDF, 2016), e a participação do leite na dieta de um número expressivo de pessoas justifica-se pelos benefícios nutricionais proporcionados pelo consumo do produto. Segundo a Organização das Nações Unidas para Agricultura e Alimentação (FAO, 2016a), o leite bovino corresponde a aproximadamente 82,7% da produção mundial de leite. O consumo de leite bovino pela população brasileira foi de aproximadamente 173 litros por habitante por ano (CONAB, 2016). O recomendado pela Organização Mundial da Saúde é de 200 litros por habitante por ano (MAPA, 2013). Segundo Visioli e Strata (2014), o leite e seus derivados são alimentos úteis em todos os períodos da vida, especialmente na infância e na adolescência, quando

seus teores de cálcio, proteína, fósforo e outros micronutrientes auxiliam no desenvolvimento esquelético, muscular e neurológico.

Informações referentes aos anos de 2014 e 2015 indicam que a demanda por produtos lácteos foi o principal estímulo para os incrementos da produção de leite brasileira. As projeções para 2024/2025 estimam que o consumo de leite cresça a uma taxa média de 2,4% ao ano. Porém, a curto e médio prazo as perspectivas sugerem uma retração na capacidade de crescimento do consumo dos brasileiros em função da conjuntura macroeconômica (MAPA, 2015).

Vilela (2002) afirma que o leite está entre os mais importantes produtos da agropecuária brasileira, e além de ter importância nutricional o produto também desempenha papel relevante na geração de empregos. A cadeia agroindustrial do leite apresenta importância na economia nacional em função da geração de empregos diretos e indiretos, além da geração de renda para os brasileiros (CAIXETA, 2010). No Brasil há cerca de 4 milhões de trabalhadores envolvidos com a atividade leiteira (ZOOCCAL, 2016).

Tão importante quanto entender as tendências de consumo é entender as condições atuais da atividade leiteira brasileira e mundial, bem como as futuras demandas e valores dos mercados consumidores.

A bovinocultura de leite é uma atividade desenvolvida no mundo inteiro. No Brasil existem cerca de 1,3 milhões de produtores de leite, 23 milhões de vacas ordenhadas e 2 mil laticínios registrados com serviço de fiscalização federal (ZOOCCAL, 2016). Paiva et al. (2016) afirmam que produção de leite nacional apresenta um crescimento consistente nas últimas três décadas, com volume anual de produção que se aproxima de 35 bilhões de litros.

Considerada bastante complexa, a atividade exige que o manejo dos animais esteja associado a boas práticas operacionais e ao planejamento econômico da atividade. Além disso, é preciso respeitar os limites ambientais do local e região produtiva para que se produza um produto não só com qualidade nutricional, mas também ambiental.

De acordo com European Milk Market Observatory (2016), o Brasil ocupa a 5ª posição entre os maiores produtores mundiais de leite, estando atrás de União Europeia, Índia, Estados Unidos e China. Esta posição permitiu ao Brasil uma produção de 24,05 bilhões litros de leite cru no ano de 2015 (IBGE, 2016). Neste ano o valor bruto da produção agropecuária, que mostra a evolução do desempenho

da atividade ao longo do ano, atingiu um faturamento de R\$ 498,5 bilhões. Sendo que dos R\$ 177,5 bilhões referente à pecuária, 27,8 bilhões foram relativos a produção de leite (BRASIL, 2015).

No Brasil a região Sudeste é a maior produtora, com 40% da produção nacional em 2015, seguida pela região Sul (36%), Centro-Oeste (13,3%), Nordeste (5,2%) e Norte (4,4%). Entre os Estados, Minas Gerais foi responsável por mais de um quarto da produção nacional (26,8%), seguido por Rio Grande do Sul (14,5%), Paraná (11,8%), São Paulo (10,8%), Goiás (10,2%) e Santa Catarina (9,8%) (CONAB, 2016).

A razão para bovinocultura leiteira se desenvolver por todo território brasileiro é a diversidade natural e produtiva do país. Para Martins (2004) as condições edafoclimáticas do Brasil permitem o desenvolvimento da atividade considerando as peculiaridades regionais. Associada a isto, a existência de diferentes sistemas de produção que abrangem desde técnicas rudimentares até as mais modernas do mundo. Por todo território são encontradas produções de subsistência, sistemas semiextensivos, especializados e intensivos. São esses diferentes sistemas produção que caracterizam a bovinocultura leiteira no Brasil e que permitem ao pecuarista competir no âmbito econômico.

Os fatores sociais, econômicos e ambientais que o país dispõe são fundamentais para a expansão e o crescimento econômico da atividade, mas impõem desafios, pois mostram o quão heterogêneo são os sistemas produtivos e, também, o quão dificultoso é o estabelecimento de padrões de manejo que impactem positivamente os diversos sistemas de produção e sirvam de referência para obtenção de um produto ideal, que considere os aspetos ambientais, de bem-estar animal, econômicos e sociais.

2.2 A pegada hídrica na produção leiteira animal

Atualmente, existem diversos métodos para avaliar o consumo de água pelas atividades humanas. Os métodos existentes fazem uso de enfoques, premissas e critérios distintos para quantificar e avaliar a utilização dos recursos hídricos. Duas abordagens se destacam nas avaliações a da Water Footprint Network e de Análise de Ciclo de Vida (ACV).

Em 2002 foi introduzido o conceito de pegada hídrica por Hoekstra (2003) como um indicador de apropriação da água que considera os usos diretos e indiretos. O método calcula os consumos de água verde, calculada a partir da evapotranspiração das culturas vegetais; azul, refere-se ao consumo de fontes superficiais e subterrâneas; cinza, volume de água necessário para assimilar a carga de poluentes que atingem os corpos d'água. O método não se limita ao cálculo da pegada, mas também insere a análise de sustentabilidade e a proposição de ações mitigatórias, visando a eficiência hídrica da atividade ou produto abordado. As informações geradas pelo método da pegada hídrica possibilitam identificar a quantidade de água utilizada, bem como as fontes utilizadas para atender os diferentes propósitos dentro de cada cadeia produtiva, de forma a demonstrar as pressões impostas pelo homem ao meio ambiente (HOEKSTRA et al., 2011).

Boulay et al. (2011) descreve o método de análise de ciclo de vida (ACV) que classifica os fluxos de água e distingue as águas de acordo com suas origens. O método é uma versão atualizada de outros métodos (Bayard, 2008; Vince, 2007), permitindo classificar 11 fluxos de entrada e saída de água. Peters et al. (2010), utilizou o método de ACV e modelagem hidrológica, Milà-I-Canals et al. (2009), trabalhando com ACV e índice de escassez hídrica, afirmam que há uma necessidade de avaliação mais sistêmica para caracterizar a sustentabilidade do uso de água doce por sistemas de produção no método de ACV. Atualmente, na literatura os trabalhos em produção animal que utilizam o método de análise de ciclo de vida incluem também a pegada hídrica na metodologia de cálculo. Ran et al. (2016) e Murphy et al. (2017), destacam que o método ACV avalia o uso da água embasado apenas na água azul não considerando as águas verde e cinza.

Na Tabela 1 são apresentados valores de pegada hídrica para o produto leite, considerando os dois métodos citados. A discrepância entre os valores decorre das variáveis utilizadas. O sistema de produção, a raça dos animais, o número de animais e o tipo de alimentação são exemplos de variáveis que irão determinar os valores calculados. Outro aspecto a ser considerado é a unidade funcional utilizada na apresentação dos resultados. Cálculos para um mesmo produto, mas em unidades diferentes não devem ser comparados. No caso do produto leite, mesmo que a pegada seja apresentada como unidade de leite corrigido, existem diversas equações para se fazer essa correção, havendo diferenças de nos índices de cada equação.

Tabela 1 - Valores de pegada hídrica para o produto leite bovino

Trabalho	Local	Método	Abrangência	Pegada total	Pegada Verde	Pegada Azul	Pegada Cinza
Drastig et al. (2010)	Alemanha	Produtividade Hídrica	Produção de alimento e propriedade rural	3,58 L kg ⁻¹ de leite	–	3,58 L kg ⁻¹ de leite.	–
De Boer et al. (2013)	Holanda	Análise de Ciclo de Vida	Produção de alimento e propriedade rural	66 L Kg ⁻¹ de FPCM	–	66 L Kg ⁻¹ de FPCM	–
Huang et al. (2014)	China	Análise de Ciclo de Vida	Produção de alimento e propriedade rural	69 L L ⁻¹ de leite	–	69 L L ⁻¹ de leite	–
Mekonnen e Hoekstra (2010)	Média mundial	Pegada hídrica	Produção de alimentos e animal.	Sist. a pasto 1.192 m ³ t ⁻¹ de leite	1.087 m ³ t ⁻¹ de leite	56 m ³ t ⁻¹ de leite	49 m ³ t ⁻¹ de leite
				Sist. misto 956 m ³ t ⁻¹ de leite	790 m ³ t ⁻¹ de leite	90 m ³ t ⁻¹ de leite	76 m ³ t ⁻¹ de leite
				Sist. industrial 1.207 m ³ t ⁻¹ de leite	1.027 m ³ t ⁻¹ de leite	98 m ³ t ⁻¹ de leite	82 m ³ t ⁻¹ de leite
Murphy et al. (2017)	Irlanda	Pegada hídrica	Produção de alimento e propriedade rural	690L kg ⁻¹ de FPCM	684L Kg ⁻¹ de FPCM	6 L Kg ⁻¹ de FPCM	–
Nitrato							
Palhares e Pezzopane (2015)	Brasil	Pegada hídrica	Produção de alimento e propriedade rural	Sist. convencional 962 (N), 1.422 (P) L kg ⁻¹ de ECM	884 L kg ⁻¹ de ECM	75 L kg ⁻¹ de ECM	3,6 L kg ⁻¹ de ECM
					8,6 L kg ⁻¹ de ECM		
				Sist. orgânico 808 (N), 1.510 (P) L kg ⁻¹ de ECM	702 L kg ⁻¹ de ECM	97 L kg ⁻¹ de ECM	Fósforo
							463 L kg ⁻¹ de ECM
							711 L kg ⁻¹ de ECM
Owusu-Sekyere. et al.(2016)	África do Sul	Pegada hídrica	Produção de alimento e propriedade rural	1.352 m ³ t ⁻¹ de FPCM	1.185 m ³ t ⁻¹ de FPCM	107 m ³ t ⁻¹ de FPCM	60 m ³ t ⁻¹ de FPCM

Fonte: Adaptado das referências consultadas.

Portanto para relacionar e comparar os dados, deve-se ter conhecimento da metodologia utilizada, considerando os aspectos descritos.

Neste estudo optou-se por utilizar o método proposto Hoekstra (2003). Segundo esse método, as etapas que compõem a abordagem são: definição de objetivos e escopo; contabilização da pegada hídrica; avaliação da sustentabilidade da pegada hídrica; e proposição de ações mitigatórias.

A pegada hídrica de um produto de origem animal em volume total ou em proporção das componentes (azul, verde, cinza) depende da forma de produção do alimento, se utiliza ou não irrigação e das condições climáticas da região. Scheepers e Jordaan (2016), consideram também a importância do manejo do solo associado ao aumento da capacidade de armazenamento de água no solo, principalmente em regiões áridas e semiáridas, onde o recurso é escasso.

Para Vanham et al. (2013), Mekonnen e Hoekstra (2010), a necessidade de considerar a água verde está relacionada ao fato de que todos os produtos agrícolas utilizados como alimento para os animais consomem água verde.

Hoekstra (2012b) atesta que a pegada hídrica de produtos de origem animal é maior do que a pegada de um produto vegetal, com equivalente valor nutricional, e enfatiza a necessidade de rever a composição das rações e a origem dos seus ingredientes, para encontrar maneiras de reduzir a pegada hídrica desses produtos.

Boisare et al. (2015) afirmam que a demanda de água na produção de leite é determinada pela eficiência da conversão alimentar e pela composição da dieta fornecida aos animais. O mesmo posicionamento tem Drastig et al. (2010) que consideram que a eficiência do uso da água na agropecuária também se dá pela utilização de animais mais produtivos, correto planejamento agrícola, uso de técnicas de irrigação, entre outras práticas.

A água azul é definida como a água superficial, ou água subterrânea, consumida ao longo da cadeia de produção do produto. Nas unidades de produção animal esse consumo pode se dar pela irrigação, nos serviços de limpeza e na dessedentação do animal.

Contabilizando as pegadas hídricas para sistemas de produção de leite convencional e orgânico Palhares e Pezzopane (2015) inferiram que a pegada verde teve a maior contribuição entre os valores de pegada para ambos os sistemas de

produção e demonstraram que a irrigação de pastagens representou o grande consumo de água azul, 96% no sistema orgânico e 95% no sistema convencional.

Estudando 24 fazendas leiteiras na Irlanda, Murphy et al. (2017) também afirmam a maior contribuição da água verde sobre o a água azul no valor total da pegada (99% do volume total) e explicam que a participação das componentes (verde ou azul), em maior ou menor proporção na contabilização do volume final, pode diferir de uma região para outra. Isto porque, a proporção de cada componente, é determinada em função da base alimentar dos animais, do sistema agrícola adotado para produção de alimentos (irrigado ou não) e do regime de chuvas de cada região.

A água cinza se refere ao volume de água necessário para assimilar a carga de poluentes considerando os padrões de qualidade da legislação.

Na literatura há poucos estudos que calcularam a pegada cinza, e aqueles que a consideram, nem sempre determinam os valores para o nitrogênio (nitrato) e para o fósforo. De acordo com Vanham (2016) a consideração de cada um destes dois elementos determinará diferentes valores de pegada cinza. Situação também verificada por Liu et al. (2012) e Palhares e Pezzopane (2015). Quando se considera a fonte poluidora como difusa, calcula-se a fração da carga do poluente que é lixiviada ou escoada. Segundo Franke et al. (2013) esses parâmetros são determinados por fatores climáticos e do solo a fim de se avaliar o risco potencial de poluição dos recursos hídricos.

Sendo a água um bem público, são estabelecidas responsabilidades, que de acordo com Hoekstra et al. (2011) devem ser compartilhadas entre todos aqueles que fazem uso do recurso, ou seja, consumidores, produtores rurais, investidores, governos etc. As responsabilidades envolvem a formulação de resposta, que são uma série de ações mitigatórias que visam a redução do valor da pegada hídrica.

Dentre as opções de resposta, incluem-se as de perfil agropecuário.

Para reduzir a pegada hídrica verde é possível aumentar a produtividade das culturas por meio do aperfeiçoamento das práticas agrícolas, como por exemplo, o uso de cobertura morta no solo a fim de reduzir a evaporação, com isso reduz-se a pegada ($\text{m}^3 \text{t}^{-1}$) e aumenta-se a produtividade hídrica (t m^{-3}). A pegada hídrica azul pode ser reduzida pela utilização de técnicas de irrigação mais eficientes e que proporcionem menor perda por evaporação e pelo correto manejo nutricional. A

correta utilização de insumos como fertilizantes e agroquímicos reduzirá a pegada hídrica cinza.

2.3 Manejo nutricional e sua relação com o manejo ambiental

As diretrizes do NATIONAL RESEARCH COUNCIL para bovinos de leite (2001), afirmam que o consumo de matéria seca é de fundamental importância na alimentação em razão do fornecimento de nutrientes em prol da produção e da saúde animal. Destaca que é importante estimar com precisão a ingestão de matéria seca para não ocorrer nem a desnutrição nem a alimentação excessiva dos animais. Pois, esta última, além de aumentar os custos de produção, resulta na excreção dos nutrientes que não foram aproveitados para o meio ambiente.

Segundo Murphy et al. (1983) a produção de leite está intimamente correlacionada à ingestão de matéria seca e a ingestão de matéria seca ao consumo de água. Quando há escassez de água em quantidade e/ou qualidade, reduz-se a ingestão de alimento pelo animal. A água se faz necessária para digestão dos alimentos, absorção e eliminação da fração não digerida (LANGHANS et al., 1995).

Ao longo de toda lactação, a energia disponibilizada pelos nutrientes dos alimentos deve atender as exigências de manutenção do animal, de produção de leite e de síntese de proteína microbiana ruminal, para que o animal possa expressar o seu máximo potencial de produção.

A relação simbiótica que existe entre os micro-organismo ruminais e os animais ruminantes é o que permite que esses possam converter a energia armazenada nos vegetais, indigestíveis para os seres humanos, em produtos alimentícios digestíveis (MIZRAHI, 2013). No entanto, os animais não possuem a capacidade de aproveitar integralmente os nutrientes contidos nos alimentos. O que não foi retido no corpo do animal ou no leite é eliminado pelas fezes, urina e gases (MIZRAHI, 2011).

Existem várias práticas e tecnologias para melhorar capacidade de aproveitamento dos nutrientes pelos animais. A manipulação das fontes de proteína e a forma como essas são oferecidas aos animais são instrumentos que se dispõem para tornar o uso dos elementos contidos nas dietas mais eficiente.

A inclusão de proteína na dieta dá suporte à simbiose e como afirma Patton et al. (2014), também assegura o suprimento de aminoácidos para suportar todas as funções biológicas.

Para Broderick (2003), os fatores que influenciam o uso de PB nas dietas são complexos e estão relacionados ao suprimento de proteína para manter as necessidades dos micro-organismos ruminais, e ao atendimento dos padrões de aminoácidos exigido pelos animais.

Manipulando a proteína por meio da redução de seu teor na dieta de vacas em lactação, Sinclair et al. (2013), obtiveram resultados de aumento do uso de N pelos animais e redução na liberação de N para o ambiente. Edouard et al. (2015) também encontraram resultados semelhantes e asseguram que a produção de leite não foi afetada pela redução do teor proteico.

O excesso do consumo de nitrogênio aumenta a ingestão de água devido a uma resposta fisiológica do animal para diluir e eliminar o nitrogênio em excesso (NRC, 2001). O nitrogênio excedente na dieta também significa maiores concentrações do elemento nos resíduos do animal (fezes e urina), o que significa maior risco ambiental (BRODERICK et al., 2009; SHEPHERD et al., 2017). Segundo Carter e Kim (2013), o nitrogênio contido nos resíduos apresenta potencial de volatilização e consequente impacto na qualidade do ar, bem como pode contaminar águas superficiais e subterrâneas e o solo.

Para Costa Junior et al. (2013), o desequilíbrio entre entradas e saídas de nutrientes define a magnitude do potencial de risco ambiental e fornece suporte a tomada de decisão sobre as causas subjacentes a estes desafios. O balanço de nitrogênio é um indicativo do metabolismo proteico e funciona como importante parâmetro que permite avaliar se o animal encontra-se em equilíbrio quanto aos compostos nitrogenados (GUIMARÃES JR et al., 2007). Berchielli et al. (2006), salienta que alimentos ricos em proteínas frequentemente resultam em maior demanda de água, devido ao incremento calórico da proteína e a eliminação de resíduos do metabolismo.

Calculando o balanço anual de nitrogênio em sistemas de bovino leiteiro, Berto e Berto (2007) mostraram que o ingresso médio de N no sistema por meio de concentrado correspondeu a 29 kg vaca⁻¹, sendo exportados 20,9 kg de N vaca⁻¹ via carne e leite. Novelli e Palhares (2015) realizaram o balanço de nitrogênio de um sistema de produção de leite orgânico. O valor médio mensal de entrada de N foi de

777 kg mês⁻¹. Das saídas, o sistema gerou em média 41 kg N mês⁻¹, dos quais 54% do total de N foi proveniente do leite e 46 % da venda dos animais.

A nutrição animal é o principal fator produtivo que se dispõe para reduzir o uso de recursos naturais e insumos pela produção animal, bem como seus potenciais impactos ambientais negativos, mantendo os benefícios sociais e econômicos.

2.4 Captação de água de chuva em sistemas de produção animal

Evidências revelam que antigas civilizações como os Maias, possuíam sistemas de captação e armazenamento de água da chuva. Os reservatórios eram denominados *chultuns*. Sua construção era realizada por meio de cortes em rochas, garantindo o devido armazenamento de água da chuva para suprir as necessidades nos períodos de seca ao longo do ano (MORLEY, 1956; GALLENKAMP, 1985; LANDON, 1993).

Para Liuzzo et al. (2016) a captação da água da chuva por meio de cisternas é considerada como uma tecnologia de gestão de recursos hídricos que contribui para redução da necessidade de captação de água de aquíferos e fontes superficiais, e também para não utilização de água tratada para usos não nobres. Oliveira et al. (2012), afirmam que as vantagens que o uso da cisterna possibilita aos sistemas de produção animal é evitar a utilização de água de qualidade onde não é necessária, como por exemplo, na lavagem de piso de instalações para retirada de resíduos e possibilitar o armazenamento da água de chuva a fim de minimizar os problemas de estiagens severas em algumas épocas do ano. A desvantagem é o suprimento limitado em função da quantidade de precipitação na região e da área de captação.

No Brasil, assim como em outras regiões do mundo, algumas localidades sofrem graves problemas de escassez de água, como é o caso das regiões Semiáridas. Nestas regiões, a baixa disponibilidade de água é causada principalmente pela reduzida precipitação, grande irregularidade intra e interanual da chuva e alta taxa de evaporação (ITABORAHY et al., 2014). Brito et al. (2005) e Vieira et al. (2015) retratam as dificuldades da produção animal em regiões semiáridas e como elas podem ser minimizadas com a captação da água da chuva e seu armazenamento em cisternas.

A captação da água da chuva também é importante nas demais regiões brasileiras, principalmente onde já se verificam conflitos pelo uso da água e/ou

regiões de produção agropecuária intensiva. No meio rural, a captação de água pluvial e seu armazenamento em cisternas apresenta-se como uma tecnologia que irá conferir maior disponibilidade de água para as produções e segurança hídrica para a propriedade.

O Código das Águas de 1934, Decreto nº 24.643, o conferiu o direito lícito de apanhar águas pluviais pelos donos da propriedade, concedendo o direito do proprietário dispor a vontade desta fonte de água, não permitindo porém, desperdiçá-la em prejuízo de outros que dela possa aproveitar (BRASIL, 1934).

Em 2014 o Projeto de Lei 7.818 criou a Política Nacional de Captação, Armazenamento e Aproveitamento de Águas Pluviais. Essa estabelece:

“A captação, o armazenamento e o aproveitamento das águas pluviais, nas edificações e nos empreendimentos, são itens obrigatórios para a aprovação de projetos de construção públicos e privados, em área urbana e rural, destinados aos usos habitacionais, agropecuários, industriais, comerciais e de serviços, inclusive quando se tratar de edificações de interesse social” (adaptado de Brasil, 2014).

Segundo Schwartzman e Palmier (2007) a captação de água de chuva, considerando o estabelecido na Política Nacional de Recursos Hídricos (Lei 9433/1997), independe de outorga pelo Poder Público. Assim, a prática não é administrada pelos órgãos gestores de recursos hídricos e não tem valor econômico previsto em Lei.

Os requisitos para o aproveitamento de água de chuva de coberturas em áreas urbanas para fins não potáveis são estabelecidos pela NBR 15527 (ABNT, 2007). A normativa estabelece que após tratamento adequado, a água captada pode ser empregada para diversos usos como: descargas de bacia sanitária, irrigação de gramados e plantas ornamentais, lavagem de veículos, limpeza de calçadas e ruas, limpeza de pátios, espelhos d'água e usos industriais. Como não há uma normativa específica para o meio rural, os conceitos e diretrizes da citada NBR podem ser empregados para captação e armazenamento de água de chuva no meio rural.

O elevado consumo de água nas regiões de produção agropecuária intensiva, associado à falta de gestão do recurso e à redução da disponibilidade quantitativa e qualitativa das águas superficiais (Oliveira et al., 2012), bem como a água como mais um quesito no custo de produção das atividades agropecuárias, (Palhares, 2016),

são aspectos que devem alertar o setor agropecuário para ter uma nova atitude frente ao manejo hídrico das atividades.

Alguns trabalhos científicos ressaltam a contribuição da cisterna na produção animal. Reichert e Musa (2012) considerando a demanda de água para suínos e aves em escala de produção afirmam que o aproveitamento da água da chuva no meio rural é viável e apresenta-se como alternativa para reduzir os riscos de falta de água e a dependência excessiva das fontes superficiais de abastecimento. Proença e Schmidt (2014) obtiveram resultados positivos no quesito segurança hídrica com o aproveitamento de água em um aviário. A cisterna supriu tanto a necessidade de água para dessedentação das aves, quanto para as atividades de higienização das instalações. Santos (2015) explorou o potencial de aproveitamento da água de chuva na produção de leite e demonstrou a contribuição efetiva do uso da cisterna para a redução da demanda hídrica de fontes naturais.

3 MATERIAIS E MÉTODOS

O sistema de produção referência para o cálculo da pegada hídrica e do balanço de nutrientes foi o de produção de leite intensiva a pasto. Este sistema faz parte do Sistema de Produção de Leite (SPL) da Embrapa Pecuária Sudeste, localizada no município de São Carlos, Estado de São Paulo.

A área do SPL é de aproximadamente 60 ha, sendo que em torno de 8,6 ha são de pastagens adubadas (das quais 7,4 são irrigadas), 18,7 ha de pastagens não adubadas (esta área não tem sido utilizada integralmente com o rebanho leiteiro), 4,5 ha de área de descanso com sombra, 1,0 ha de benfeitorias e 10,0 ha de mata nativa. Anualmente, é cultivada uma área de 17,2 ha para a produção de milho para ensilagem, sendo parte na área útil do SPL e parte em áreas adjacentes ao sistema.

O manejo dos efluentes é realizado a partir do seguinte arranjo: passagem do efluente por um sistema de peneira de limpeza automática (Modelo: PAC 1000, com escovas de piaçava e abertura de 2,0 mm), esterqueira (impermeabilizada com lona de PVC, capacidade de 270 m³ e tempo de residência de 30 dias), sistema de fertirrigação em área de pastagem.

3.1 Cálculo das pegadas hídricas

A pegada hídrica do produto leite foi calculada de acordo com o método apresentado no Manual de Avaliação da Pegada Hídrica (Hoekstra et al., 2011) e considerou os consumos das águas verde, azul e cinza. Também foi considerada a proposição da ação mitigadora: manipulação do teor de proteína bruta das dietas.

O período experimental foi de abril de 2015 a março de 2016, envolvendo um ciclo completo de lactação de um grupo de 14 vacas. Os animais do experimento eram provenientes das raças Holandesa e Jersey. As vacas foram divididas em dois grupos de sete animais, considerando peso, idade e número de lactação, conforme os dados apresentados na Tabela 2. Em cada grupo havia três animais da raça Jersey e quatro da raça Holandesa. O Grupo 1 foi definido como proteína fixa a 20% e o Grupo 2 como proteína ajustada.

O período de lactação se estendeu de nove até doze meses. A entrada de cada animal no Grupo respeitou a parição natural de cada vaca. Por esta razão o Grupo 1 iniciou o experimento com quatro animais e o Grupo 2 com três.

O manejo alimentar dos animais foi baseado em sistema de pastejo de gramíneas tropicais (*Panicum maximum* Jacq. cv. *Tanzânia*), silagem de milho, como suplementação de volumoso e concentrado contendo níveis de proteína bruta diferenciados para cada um dos Grupos. O concentrado foi elaborado com os seguintes ingredientes: milho, farelo de soja, bicarbonato de sódio e sal mineral. As dietas, ração total (silagem de milho mais concentrado) eram fornecidas duas vezes ao dia para cada um dos Grupos. O Grupo 1 foi alimentado com uma dieta contendo 20% de proteína bruta na matéria seca, ao longo de toda a lactação. O ajuste proteico do concentrado do Grupo 2 se deu de acordo com a produção de leite média do grupo ao longo do período de lactação.

Tabela 2 - Parâmetros de cada animal selecionado para composição dos grupos experimentais

Animal	Peso (kg)		Idade (anos)		Número de Lactação	
	Grupo 1	Grupo 2	Grupo 1	Grupo 2	Grupo 1	Grupo 2
1	636	570	7	5	3	3
2	828	726	5	5	2	3
3	614	664	5	4	3	2
4	684	540	5	6	2	2
5	598	550	4	4	1	2
6	578	684	4	4	2	1
7	499	416	4	3	1	1
Média	634	593	5	5	2	2

Fonte: Dados da pesquisa do autor.

A escala espacial do estudo foi a área experimental e as áreas contíguas necessárias a produção de leite (sala de ordenha, áreas para produção de grãos, laticínio). A escala temporal foi a mensal (março de 2015 a março de 2016). A fonte de dados foi primária e secundária.

A descrição do sistema de produção em investigação é essencial, uma vez que a utilização dos insumos em geral e do uso da água em particular, estão intimamente relacionados ao sistema e ao local de produção. Estes fatores também são fundamentais para o estabelecimento da fronteira do cálculo e para a proposição das intervenções mitigadoras. Neste estudo a fronteira de cálculo

compreendeu o conceito de berço até o processamento do produto (cradle-to-processing gate). A Figura 1 apresenta o sistema de produção do estudo.

Figura 1 - Sistema de produção de leite intensivo a pasto da Embrapa Pecuária Sudeste

Fonte: Embrapa Pecuária Sudeste, 2010.

A produção de leite e sua composição de gordura e proteína foram avaliadas mensalmente para cada animal do experimento. As composições de proteína e gordura do leite foram determinadas pelo laboratório da Clínica do Leite, em Piracicaba, utilizando a técnica de infravermelho. Para a padronização do leite utilizou-se o método FPCM (Fat Protein - Correted Milk), que permite avaliar todos os animais em igualdade de condições para fins comparativos. O FPCM expressa a quantidade de leite produzido ajustado para proteína e gordura. Neste estudo foram utilizadas as médias de proteína e gordura de cada animal do experimento. A Equação 1 apresenta a fórmula utilizada para correção da produção de leite (FAO, 2016b).

$$\text{FPCM} = \text{Leite} * (0,337 + 0,116 * \text{gordura}_{\text{leite}} + 0,006 * \text{proteína}_{\text{leite}}) \quad (1)$$

Em que:

FPCM: produção total de leite corrigido do Grupo (Kg de FPCM lactação⁻¹);

Leite: somatório da Produção de leite mensal de cada animal do Grupo (Kg cabeça⁻¹ lactação⁻¹);

Gordura_{leite}: porcentagem de gordura mensal contida no leite de cada animal do Grupo;

Proteína_{leite}: porcentagem de proteína mensal contida no leite de cada animal do Grupo.

3.1.1 Pegada hídrica verde

Para o cálculo da componente verde da pegada hídrica, estabeleceu-se que todas as culturas vegetais foram produzidas em sistema de sequeiro, portanto sem a necessidade de irrigação. A água verde é entendida como um uso indireto de água. Ela representa a água consumida na produção das culturas vegetais e água contida nesses produtos.

É necessária uma grande quantidade de dados para estimar a pegada hídrica verde. Quando o objetivo da avaliação é fazer uma estimativa aproximada é comum utilizar dados climáticos de locais próximos e dados de culturais obtidos a partir de estatísticas e médias regionais ou nacionais. Quando o estudo é realizado na escala de fazenda são necessários dados detalhados sobre o clima e as culturas vegetais. De acordo com Ran et al. (2016), estima-se a quantidade de ração necessária para produzir a quantidade de produto e a evapotranspiração correspondente para essa quantidade. Tais cálculos são mais precisos, uma vez que geram estimativas de água diretamente relacionadas à quantidade de biomassa consumida pelos animais.

O cálculo dessa água se deu pela mensuração da evapotranspiração da cultura, considerando o seu coeficiente (Kc) e a evapotranspiração de referência na região de cálculo, somado a quantidade de água no produto.

O cálculo da água verde é apresentado na Equação 2.

$$PH_{\text{verde}} = \frac{\sum_{d=1}^n (\text{Evapo. da Cult.}[a, e] + \text{Produto}[d, e])}{\text{Tonelada de Leite}} \quad (2)$$

Em que:

PH_{verde} : pegada hídrica verde ($\text{m}^3 \text{t}^{-1}$);

Evapo. da Cult. $[a,e]$: evapotranspiração de referência de cada ingrediente da dieta (e) consumido pelos animais a no experimento (e) ($\text{m}^3 \text{t}^{-1}$);

Produto $[d,e]$: teor de água no ingrediente d no experimento e ($\text{m}^3 \text{t}^{-1}$). O teor de água no produto foi obtido pela porcentagem de matéria seca de cada ingrediente das dietas.

Os dados climáticos utilizados para o cálculo do consumo de água verde de cada cultura agrícola utilizada no arraçãoamento dos animais corresponderam ao ciclo de desenvolvimento do plantio à colheita. A duração de cada ciclo foi estabelecida de acordo com o Zoneamento Agroclimático publicado pela Companhia Nacional de Abastecimento. O zoneamento determina os períodos mais adequados para o plantio das culturas vegetais.

A quantidade de hectares necessários para produção de cada cultura agrícola que compôs as dietas dos animais foi determinada pela razão do consumo total de matéria natural do ingrediente na dieta pela produtividade da cultura (t ha^{-1}).

Para o cálculo da água consumida pelo sistema de pastejo rotacionado, capim Tanzânia, utilizou-se os dados climáticos da estação meteorológica da Embrapa Pecuária Sudeste. Os coeficientes de cultura do capim Tanzânia foram calculados, considerando as variáveis climáticas do local, gerando-se valores diários de K_c (Apêndice). A produtividade da forragem foi estabelecida em $29,2 \text{ t de MS ha}^{-1}$ de acordo com Rassini (2004).

Para o cálculo da água consumida na produção da silagem de milho também se utilizou os dados climáticos da estação meteorológica localizado na Embrapa Pecuária Sudeste. Os coeficientes de cultura (K_c) utilizados para determinação da demanda hídrica da silagem de milho estão de acordo com a publicação Irrigação e Drenagem nº 33 da Food and Agriculture Organization of the United Nations - FAO (Doorenbos e Kassam, 1994).

Os grãos que constituíram o concentrado foram provenientes da safra 2014-2015. Estipulou-se que o milho foi produzido no Estado do Paraná e o farelo de soja no estado do Mato Grosso. Esses dois Estados foram selecionados devido à proximidade com o Estado de São Paulo, dessa forma a haveria maiores probabilidades que os grãos consumidos pelo sistema de produção de estudo fossem originados de ambos os Estados. Essa abordagem foi necessária devido a

impossibilidade de se rastrear a origem dos grãos comprados pela unidade de pesquisa. Os dois Estados também se configuram como tradicionais produtores para ambos os grãos.

Selecionados os Estados de origem dos grãos, a seleção dos municípios produtores foi feita pela consulta ao banco de dados do Sistema IBGE de Recuperação Automática - SIDRA. Analisando-se as séries históricas de produtividade de cada estado, calculou-se a produtividade média estadual para cada grão na década 2004-2013. Com os valores de produtividade média, identificaram-se os municípios com os valores mais próximo das médias na safra 2014-2015. Os municípios selecionados foram: Prudentópolis para o milho e Rondonópolis para a soja.

Os dados climáticos necessários para o cálculo das águas consumidas por cada cultura de grãos foram obtidos por consulta à base de dados do Instituto Nacional de Meteorologia (INMET). Selecionaram-se as estações meteorológicas, geograficamente, mais próximas aos municípios escolhidos. Os coeficientes de cultura (K_c) utilizados para determinação da demanda hídrica do milho e da soja foram os propostos na publicação Irrigação e Drenagem nº 33 da Food and Agriculture Organization of the United Nations - FAO (Doorenbos e Kassam, 1994).

A partir do grão de soja dois produtos são produzidos, o farelo e o óleo. Como o produto soja é consumido na forma de farelo só foi considerado no cálculo da pegada verde referente a esse grão a água consumida para se produzir esse produto. Para isso utilizou-se os fatores técnicos de conversão das commodities agropecuárias da FAO (2013b). Os fatores recomendados para a realidade produtiva brasileira são 77% do grão é transformado em farelo e 23% em óleo. Desta forma, descontou-se 23% da evapotranspiração calculada para o grão de soja.

A evapotranspiração de referência (ETo) foi calculada de acordo com as equações propostas pelo método de Thornthwaite de 1948, descrito por Pereira, Angelocci e Sentelhas (2002). A escolha do método se deu em função da necessidade de poucas variáveis para determinação da evapotranspiração de referência.

Na Equação 3 apresenta-se o cálculo do requerimento de água da cultura.

$$RAC = 10 * \sum_{d=1}^{pc} ETc \quad (3)$$

Em que:

RAC: requerimento de água da cultura (mm dia⁻¹);

O fator 10 transforma a necessidade hídrica em m³ ha⁻¹;

d: primeiro dia até o período final do crescimento da cultura;

Pc: período de crescimento das culturas;

ETc: evapotranspiração da cultura.

$$ETc = Kc * ETo$$

Em que:

ETc: evapotranspiração da cultura;

Kc: coeficiente de cada cultura;

Eto: evapotranspiração de referência.

3.1.2 Pegada hídrica azul

A água azul é aquela extraída de fontes superficiais e subterrâneas e utilizada na irrigação das culturas, dessedentação dos animais, serviços na fazenda e no processamento dos produtos. Os consumos de água azul considerados foram: dessedentação animal, irrigação das pastagens e processamento do leite. O cálculo da água azul é apresentado na Equação 4.

$$PHazul = \frac{(Cd * UA) + (Cirrig.) + (Prod. Leite * Ap)}{\text{Tonelada de Leite}} \quad (4)$$

Em que:

PHazul: pegada hídrica azul (m³ t⁻¹);

Cd: consumo médio de água de dessedentação por animal (m³);

UA: unidade animal;

Cirrig: consumo de água de irrigação (m³);

Prod. Leite: produção de leite (t);

Ap: quantidade de água no produto (%). A quantidade de água contida no leite foi determinada de acordo com o Núcleo de Estudos e Pesquisa em Alimentação (2011), que considera que 87% do leite é água.

Produção Total de Leite da Lactação: t.

O consumo de água de irrigação do sistema de pastejo rotacionado foi calculado a partir das seguintes características produtivas: 32 piquetes divididos em sete setores de irrigação e cada setor com doze aspersores com vazão de 450 L h^{-1} ; irrigação noturna com duas horas de irrigação por setor; eficiência de irrigação de 85%. A irrigação iniciou-se em 09/06/2015 e finalizou em 25/10/2015, totalizando 97 dias de uso da prática.

O monitoramento dos consumos de água de dessedentação dos animais durante a estada na sala de ordenha, da lavagem do piso para retirada dos estercos e da lavagem do sistema automatizado de ordenha e dos tanques de leite ocorreu pelo período de dois anos, de 28/05/2014 a 28/03/2016. Três hidrômetros foram instalados na sala de ordenha (Figura 2), portanto para cada uso citado acima havia um equipamento que era lido diariamente, após a primeira e a segunda ordenha. Essas mensurações possibilitaram a avaliação dos consumos de água azul (dessedentação na ordenha) e cinza (volume de efluente).

A variável consumo de água referente ao bebedouro da ordenha foi submetida a uma análise de variância pelo procedimento GLM do SAS (SAS, 2012) considerando no modelo o efeito de estação do ano (outono, inverno, primavera e verão). Para a comparação múltipla entre as médias de estação adotou-se a opção LSMEANS e o teste de Tukey com nível de significância de 5%.

O consumo de água de dessedentação dos animais submetidos a experimentação com as duas dietas (14 vacas em lactação) se deu por dois sistemas diferentes.

Figura 3 – Bebedouro eletrônico e área experimental

Fonte: Autoria própria.

Legenda: a) bebedouro eletrônico; b) animal acessando o bebedouro; c) piquetes de descanso com acesso aos bebedouros de consumo individual.

Ao término da ordenha da tarde os animais dos dois Grupos eram reunidos em um só grupo e conduzidos para um piquete do sistema de pastejo rotacionado. Neste piquete, os animais tinham acesso a um bebedouro coletivo. No bebedouro foi instalado um hidrômetro digital que registrava o consumo de água no período (Figura 4). A leitura do hidrômetro era feita todos os dias no mesmo horário. O consumo de água por animal foi calculado pela razão do consumo total de água pelo número de animais (14). O valor médio de consumo neste bebedouro foi estabelecido mediante a exclusão de valores de consumo abaixo de 12,5 L e acima de 22,8 L, definidos a partir do cálculo do desvio padrão da média.

Figura 4 - Hidrômetro digital no bebedouro do pasto

Fonte: Autoria própria.

3.1.2.1 Índice de escassez de água azul

O índice de escassez de água azul foi determinado de acordo com a metodologia de Hoekstra et al. (2012a) e avaliou o volume de água alocado (pegada hídrica azul) em função da disponibilidade hídrica superficial e subterrânea existente na fazenda Canchim – Embrapa Pecuária Sudeste. A disponibilidade hídrica é um fator local, ou seja, o impacto da pegada hídrica azul depende da disponibilidade hídrica no local da atividade. Quanto mais próximo o índice do valor unitário, maior a insegurança hídrica da atividade. A fórmula de cálculo do índice de escassez de água azul é apresentada na Equação 5.

$$IEA = \frac{\text{Consumo total de água azul}}{\text{Disponibilidade Hídrica (Superficial + Subterrânea)}} \quad (5)$$

Em que:

IEA: é o índice de escassez de água azul;

Consumo total de água azul: m^3 ;

Superficial: é a disponibilidade de água superficial ($m^3 \text{ ano}^{-1}$). A disponibilidade hídrica superficial na fazenda Canchim no ano de 2016 foi de $411.194,4 \text{ m}^3 \text{ ano}^{-1}$;

Subterrânea: é a disponibilidade de água subterrânea ($m^3 \text{ ano}^{-1}$). A disponibilidade hídrica subterrânea na fazenda Canchim no ano de 2016 foi de $138.758 \text{ m}^3 \text{ ano}^{-1}$.

O índice pode apresentar quatro níveis de escassez: <1 baixa escassez de água azul, 1 – 1,5 escassez moderada, 1,5 – 2,0 escassez significativa e >2,0 escassez severa.

3.1.3 Pegada hídrica cinza

A pegada hídrica cinza é definida como o volume de água necessário para assimilar a carga de poluentes com base nas concentrações naturais e nos padrões legais. Essa pegada foi calculada para o sistema de produção e na fase de processamento do leite (laticínio). Os efluentes gerados eram armazenados em esterqueiras para posterior aplicação no solo como fertilizante. Esse manejo caracteriza os sistemas como uma fonte de poluição difusa.

A fórmula de cálculo da pegada hídrica cinza é apresentada na Equação 6.

$$PH_{cinza} = \frac{PH_{sist.} \left(\frac{\alpha * Apl.}{C_{max} - C_{nat}} \right) + PH_{lat.} \left(\frac{\alpha * Apl.}{C_{max} - C_{nat}} \right)}{\text{Tonelada de Leite}} \quad (6)$$

Em que:

PH_{cinza}: pegada hídrica cinza (m³ t⁻¹);

PH_{sist.}: pegada hídrica cinza do sistema de produção (m³ t⁻¹);

PH_{lat.}: pegada hídrica cinza do laticínio (m³ t⁻¹);

α: fator que expressa a fração do elemento nitrato ou fósforo que pode ser perdida por escoamento superficial ou lixiviação;

Apl.: quantidade do nutriente aplicado no solo (kg) de acordo com sua concentração no volume de efluente disposto como fertilizante;

C_{max}: concentração máxima do elemento no corpo d'água de acordo com a Resolução Conama nº 357. Considerando rios Classe 2, a concentração máxima aceitável de nitrato é 10 mg.L⁻¹ e de fósforo total 0,15 mg.L⁻¹;

C_{nat}: concentração natural do elemento no corpo d'água.

O volume de efluente gerado pelo sistema de produção (fazenda Cachim) era um produto da limpeza dos equipamentos (tanques de resfriamento do leite e

ordenhadeira mecânica) e do piso da ordenha, e se refere a quantidade produzida pela ordenha de todas as vacas em lactação do sistema de produção. Esse volume foi quantificado pela leitura diária de dois hidrômetros instalados na rede hidráulica da sala de ordenha. O monitoramento do volume gerado foi feito de abril de 2014 a março de 2016. O volume médio de efluente produzido por cada vaca em lactação durante o período experimental foi de $39,88 \text{ L animal}^{-1} \text{ dia}^{-1}$. Esse valor foi multiplicado pelo número de vacas de cada grupo ao longo dos meses de lactação. Portanto o volume total de efluente gerado por cada Grupo foi a soma dos volumes produzidos em cada mês de lactação, parâmetro Apl. da Equação 6.

A amostragem do efluente do sistema de produção foi realizada em estudo anterior (dados não publicados) a fim de caracterizá-lo quanto as suas concentrações de nitrato e fósforo total. Como não houve a possibilidade de caracterizar o efluente de cada Grupo experimental e a fim de considerar a diferença que poderia haver na concentração dos elementos nitrogênio e fósforo aferida no cálculo do balanço de nutrientes (Seção 4.5) fosse considerada na diferenciação das características do efluente dos Grupos. Com isso, no Grupo 1 considerou-se um efluente com concentração de nitrato de $23,6 \text{ mg L}^{-1}$ e a de fósforo total de 30 mg L^{-1} . Para o Grupo 2 essas concentrações foram $22,8 \text{ mg L}^{-1}$ e $25,26 \text{ mg L}^{-1}$, respectivamente.

As concentrações dos elementos nitrato e fósforo total no corpo d'água receptor do sistema de produção foram estipuladas a partir de monitoramento deste entre os anos de 2014-2016 (dados não publicados). A concentração média de nitrato no período de monitoramento foi de $0,67 \text{ mg L}^{-1}$ e a de fósforo total de $0,10 \text{ mg L}^{-1}$.

A mensuração do volume de efluente do laticínio se deu pelo monitoramento diário de um hidrômetro no período de abril de 2015 a março de 2016. O equipamento de mensuração foi instalado em uma unidade agroindustrial de perfil familiar situada no município de Serra Negra SP. No período de monitoramento a unidade processou um total de 325.874 litros de leite, com uma média de processamento diário de 1.155 litros de leite por dia. A água cinza referiu-se a toda água consumida no processo de elaboração dos produtos e derivados de leite. Os efluentes gerados a partir dos esgotos humanos e residências não foram considerados no cálculo.

A amostragem do efluente da unidade agroindustrial foi realizada em estudo anterior (dados não publicados) a fim de caracterizá-lo quanto as suas concentrações de nitrato e fósforo total. Considerou-se uma concentração média de nitrato de 47 mg L^{-1} e de fósforo total de 39 mg L^{-1} .

As concentrações dos elementos nitrato e fósforo total no corpo d'água receptor da unidade agroindustrial foram estipuladas a partir de um monitoramento deste entre os anos de 2014-2015 (dados não publicados). A concentração média de nitrato no período de monitoramento foi de 1 mg L^{-1} e a de fósforo total de $0,02 \text{ mg L}^{-1}$.

3.2 Proposição de ação mitigadora: uso de cisterna como fonte de água alternativa e análise do investimento

A fonte primária de captação de água do Sistema de Produção de Leite da Embrapa Pecuária Sudeste é subterrânea, sendo esta fonte utilizada na limpeza do piso da ordenha. Portanto a captação da água da chuva e seu armazenamento em uma cisterna se configurou como uma tecnologia para fornecimento de água de fonte alternativa. A cisterna, instalada ao lado da sala de ordenha (Figura 5), tinha uma capacidade de reserva de 10 mil litros de água. Essa capacidade foi calculada considerando a área de captação disponível (coberturas da sala de ordenha e da área de apartação dos animais) e o regime pluviométrico da região.

De acordo com o método de Newnan e Lavelle (2000), analisou-se a alternativa de investimento referente à implantação da cisterna para captação de água da chuva. A estrutura de cálculo foi baseada na construção de um fluxo de caixa incremental elaborado a partir dos componentes custos e benefícios referentes a alternativa de investimento. Foram calculados três indicadores econômicos: taxa interna de retorno (TIR), valor presente líquido (VPL) e período de retorno de capital (payback simples).

No fluxo de caixa, os custos referiram-se ao valor monetário da cisterna e os benefícios aos valores monetários obtidos com a economia de energia e de água durante o período de 10 anos. A recuperação do capital investido foi analisada pelo payback simples mediante a construção de cenários com diferentes valores de cobrança de água.

Figura 5 - Cisterna para armazenamento de água da chuva captada pelo telhado da sala de ordenha

Fonte: Autoria própria.

A cobrança pelo uso da água na Região Hidrográfica do Rio Mogi-Guaçu, na qual está localizada a unidade da Embrapa Pecuária Sudeste ainda não foi implementada, desta forma a valoração dos recursos hídricos foi realizada seguindo-se a diretriz do Comitê das Bacias Hidrográficas dos Rios Piracicaba, Capivari e Jundiaí (SÃO PAULO, 2015). A escolha por tal diretriz se deve ao fato de que esta é a de maior histórico no Estado de São Paulo. Considerou-se o valor cobrado de captação e consumo referente ao ano de 2016, sendo estes respectivamente R\$ 0,013 m⁻³ e R\$ 0,026 m⁻³.

A economia de energia foi obtida pela diferença de consumo da bomba que captava a água do poço mais a bomba de lavagem do piso da ordenha pela bomba da cisterna. O valor do Quilowatt-hora cobrado pela companhia de energia foi multiplicado pelo tempo de utilização das bombas para determinar o valor monetário da energia.

A simulação visando estimar qual deveria ser o preço da água para que houvesse estímulo para economia de água também foi realizada na análise financeira.

Os indicadores econômicos utilizados foram elaborados de acordo com Noronha (1987) e suas definições e formulas de cálculo são apresentados a seguir.

O VPL apresentado na equação 7 é um indicador econômico que desconta os fluxos caixa a uma taxa específica, também conhecida como taxa de desconto.

$$VPL = \sum_{t=0}^N \frac{L_t}{(1+\rho)^t} \quad (7)$$

Em que:

VPL : é o valor presente;

L_t : é o fluxo líquido de um projeto em um horizonte de tempo N, em qualquer mês t;

ρ : é a taxa de desconto relevante para empresa (investidor).

A TIR é o valor de ρ que refere-se à taxa de desconto que zera o VPL. Sua fórmula de cálculo é apresentado na equação 8.

$$\sum_{t=0}^N \frac{L_t}{(1+\rho^*)^t} = 0 \quad (8)$$

Em que:

ρ^* : é a taxa interna de retorno.

O payback simples é o período do fluxo de caixa em que o fluxo de caixa acumulado torna-se nulo ou seja, aquele período no qual as entradas de caixa compensam o investimento e as saídas de caixa. Sua fórmula de cálculo é apresentada na equação 9.

$$\sum_{t=0}^n L_t = 0 \quad (9)$$

Em que:

L_t : é o fluxo anual do projeto;

N: é o horizonte do projeto;

Onde $N \geq n$

$t=(0,1,2,..., N)$.

3.3 Cálculo do balanço de nutrientes a partir da manipulação do teor de proteína bruta da dieta

O balanço dos nutrientes N, P e K foi calculado para cada grupo experimental de acordo com a metodologia proposta por Oenema et al. (2001).

Como entradas foram contabilizadas as quantidades ingeridas de concentrado, silagem de milho e pastagem. A saída foi o produto leite. Na Equação 10 é apresentada a fórmula de cálculo do balanço de nutrientes.

$$\text{Balanço}_{[N,P,K]} = \left(\sum_{i=1}^n \text{Quant.}_{[N,P,K]} \text{ na dieta} \right) - \left(\sum_{i=1}^n \text{Quant.}_{[N,P,K]} \text{ na prod. de leite} \right) \quad (10)$$

Em que:

Quant._[N,P,K] nas dietas: quantidade do elemento nos ingredientes das dietas (kg do elemento);

Quant._[N,P,K] no produto leite: quantidade do elemento no produto (kg).

O cálculo da eficiência de uso do nutriente (EUN) foi realizado de acordo com a Equação 11.

$$\% \text{ EUN} = \frac{\sum_{i=1}^n \text{saídas}}{\sum_{i=1}^n \text{entradas}} * 100 \quad (11)$$

Em que:

EUN _[N, P, K]: eficiência de uso dos nutrientes (%);

Saídas _[N, P, K]: quantidade do elemento na produção de leite de cada grupo (kg);

Entradas _[N, P, K]: quantidade de elemento nos ingredientes de cada dieta (Kg).

As concentrações de nitrogênio de cada ingrediente da dieta foram obtidas a partir do teor de proteína destes. Para os alimentos concentrados o teor de proteína foi obtido pela consulta ao banco de dados da Tabela brasileira de composição de alimentos para bovinos Cqbal 3.0 (VALADARES FILHO et al., 2016). O teor de proteína da silagem de milho foi determinado por análise laboratorial de amostras

coletadas nos meses de maio, julho e setembro de 2015. A proteína do leite foi determinada por análise laboratorial realizada pelo laboratório da Clínica do Leite.

Foram utilizadas as técnicas analíticas de MP-AES (do inglês de Microwave Plasma Atomic Emission Spectroscopy) e ICP-OES (Inductively Coupled Plasma Optical Emission Spectroscopy), para determinar as concentrações de P e K das entradas e do produto. As duas técnicas baseiam-se no princípio da espectroscopia de emissão que possibilita a quantificação de elementos em diferentes tipos de matrizes analíticas por meio da detecção da radiação eletromagnética emitida por átomos no estado fundamental ou íons excitados nas regiões visível e ultravioleta do espectro eletromagnético. As concentrações destes elementos nos ingredientes das dietas foram feitas no laboratório 3Rlab pela técnica de ICP-OES. As concentrações no leite foram realizadas pelo laboratório de nutrição animal da Embrapa Pecuária Sudeste pela técnica MP- AES.

4 RESULTADOS E DISCUSSÃO

A pegada hídrica total, sendo a cinza calculada com base no nitrato, teve um valor de 504,79 L kg⁻¹ de FPCM para o Grupo 1 e de 452,59 L kg⁻¹ de FPCM para o Grupo 2. A pegada hídrica apresentou valores maiores quando no cálculo da água cinza se considerou as concentrações de fósforo total do efluente, sendo de 518,43 L kg⁻¹ de FPCM e 465,16 L kg⁻¹ de FPCM para o Grupo 1 e 2, respectivamente (Tabela 3). A água verde, utilizada na produção de alimentos para os animais, foi o consumo mais representativo no valor total da pegada hídrica.

Bai et al. (2017) o consumo indireto de água é o principal consumo em uma fazenda leiteira, representando mais de 92%. Isso sugere que as práticas nas cadeias produtivas a montante podem efetivamente reduzir consumo de água do alimento leite. Palhares e Pezzopane (2015) alimentos concentrados representaram de 62,5% a 68,27% de pegada de água verde em sistemas de produção de leite. Murphy et al. (2017) também afirmam a maior contribuição da água verde sobre o a água azul no valor total da pegada e explicam que a participação das componentes (verde ou azul) em maior ou menor proporção na contabilização do volume final, pode diferir de uma região para outra, isto porque a proporção de cada componente é determinada em função da base alimentar dos animais, do sistema agrícola adotado para produção de alimentos, e do regime de chuvas de cada região.

A manipulação do teor de proteína do concentrado resultou em um impacto positivo, pois promoveu a redução do valor da pegada hídrica total. Na água azul isso foi verificado pela redução no consumo de água de dessedentação. A redução do teor de proteína na dieta determinou também a melhor eficiência do uso de nutrientes pelos animais, reduzindo a carga de nutrientes disposta no ambiente e o consumo de água cinza.

A relação do consumo de água com a produtividade da pecuária de corte pode ser explicada por diferenças na qualidade do alimento, sua digestibilidade e a eficiência de conversão alimentar (Ran et al., 2016). A composição e a qualidade da dieta também podem determinar o valor da pegada hídrica na produção de carne e leite de bovinos. Dietas bem formuladas se traduzem em melhores conversões alimentares e, conseqüentemente, em uso mais eficiente de água (Bosire et al., 2015).

Tabela 3 - Valores de pegada hídrica e consumo por tipo de água dos Grupos experimentais

Com base no nitrato	Grupo 1		Grupo 2	
Água Verde (L kg^{-1} de FPCM)	434	(86,1%)	386	(85,3%)
Água Azul (L kg^{-1} de FPCM)	67,7	(13,4%)	64,6	(14,3%)
Água Cinza nitrato (L kg^{-1} de FPCM)	2,2	(0,43%)	2,0	(0,45%)
Pegada total (L kg^{-1} de FPCM)	503,79	100	452,59	100

Com base no fósforo total	Grupo 1		Grupo 2	
Água Verde (L kg^{-1} de FPCM)	434	(83,7%)	386	(83,0%)
Água Azul (L kg^{-1} de FPCM)	67,7	(13,1%)	64,6	(13,9%)
Água Cinza fósforo (L kg^{-1} de FPCM)	16,8	(3,2%)	14,6	(3,1%)
Pegada total (L kg^{-1} de FPCM)	518,43	100	465,16	100

Fonte: Dados da pesquisa do autor.

Muitas vezes é entendido que para se atingir a máxima produção de leite são necessários altos teores de proteína bruta nas dietas. De acordo com o National Research Council (2001), maiores produções de leite foram obtidas com dietas com alto percentual proteico (22 e 23 % de PB). Os resultados demonstram que um alto teor de proteína bruta na dieta além de não produzir mais leite, proporcionou uma pegada hídrica maior, portanto uma menor eficiência hídrica do produto.

Ressalta-se que um concentrado mais proteico tem maior custo, o que impactará negativamente o custo de produção da atividade.

Ainda que o NRC afirme que o aumento da produção de leite possa se dar pelo alto percentual proteico da dieta, ele também recomenda que: “os custos econômicos e ambientais devem ser comparados entre dietas com diferentes níveis de proteína”. A comparação ambiental, pela abordagem da pegada hídrica, foi um dos objetivos deste trabalho.

4.1 Água verde

Os consumos de água verde e as pegadas hídricas verde são apresentados na Tabela 4. A pegada hídrica verde do Grupo 1 foi de 434 L kg^{-1} de FPCM e do Grupo 2 foi de 386 L kg^{-1} de FPCM. A dieta com a proteína ajustada proporcionou uma

redução de 11,06% no valor da pegada. Palhares e Pezzopane (2015) calcularam o valor de 884 L kg⁻¹ de leite ECM. De acordo com Mekonnen e Hoekstra (2012) a média global da pegada hídrica verde para sistemas de produção de leite a pasto é 1.087 L kg⁻¹ de leite. O que representa mais do que o dobro dos valores encontrados neste trabalho. A diferença observada é resultado do tipo de dieta considerada pelos autores, da produção de leite dos animais e pelo valor não ser apresentado na unidade funcional de leite corrigido.

Tabela 4 - Pegada hídrica verde, consumo de água verde e água nos produtos

Água verde	Dietas	
	Grupo 1 (PB 20%)	Grupo 2 (PB ajustada)
Consumos		
Pastagem (m ³)	198	205
Milho grão (m ³)	8.101	8.976
Milho silagem (m ³)	1.447	1.477
Soja (m ³)	11.780	9.402
Produtos		
Pastagem (m ³)	59	62
Milho grão (m ³)	1,6	1,8
Milho silagem (m ³)	17	17
Soja (m ³)	0,9	0,7
Total	21.606	20.143
Produção de leite total (kg de FPCM)	49.796	52.196
Pegada hídrica (L kg ⁻¹ de FPCM)	434	386

Fonte: Dados da pesquisa do autor.

A pegada hídrica verde por animal no Grupo 1 foi de 62 L kg⁻¹ de FPCM e no Grupo 2, 55 L kg⁻¹ de FPCM. Considerando essa diferença para um rebanho de vacas em lactação, a intervenção nutricional representaria uma economia de 1.463 m³ de água verde por lactação.

Os fatores produtivos que mais impactam o valor da pegada hídrica verde são o tipo de dieta do animal, a ingestão de matéria seca e a produtividade agrícola. Os valores de ingestão de matéria seca são apresentados na Tabela 5. Embora os animais do Grupo 2 tenham consumido maior quantidade de matéria seca, o consumo de alimentos via concentrado foi diferenciado. No Grupo 1 o consumo total de farelo de soja foi de 7.735 kg e no Grupo 2 de 6.206 kg. O volume de água

necessário para produção de um hectare de soja foi de 4.304 m³ de água verde e para o milho foi de 3.246 m³. Como a dieta ajustada apresentou menor demanda de farelo de soja na sua composição, o volume de água verde consequentemente também foi menor.

Tabela 5 - Ingestão de matéria seca total (IMS) durante o período de lactação

Variáveis	Dietas	
	Grupo 1 (PB 20%)	Grupo 2 (PB ajustada)
IMS (kg)		
Concentrado (média animal ⁻¹ mês ⁻¹)	316	311
Milho grão	14.753	16.348
Farelo de soja	7.735	6.206
Pastagem	12.344	12.833
Silagem de milho	8.853	9.029
Total (kg)	43.685	44.416

Fonte: Dados da pesquisa do autor.

Neste estudo estipulou-se que a soja foi produzida no Estado do Mato Grosso por ser este o maior produtor do grão no país e apresentar altas produtividades. Um Estado com menores aptidão e tecnologia agrícola teria menor produtividade o que impactaria o consumo de água verde e o valor da pegada. Drastig et al (2016) a soja produzida no estado de São Paulo apresentou menor produtividade hídrica quando comparada com os demais estados das regiões Sudeste e Centro-Oeste, provavelmente devido ao fato da soja não ser uma cultura tradicional em São Paulo, onde as condições de produção e manejo não são as ideais.

Aspectos relativos ao clima e ao solo são importantes para determinar a evapotranspiração de áreas agrícolas, bem como o manejo cultural (ROCKSTRÖM et al., 2007; HOEKSTRA et al., 2011). Segundo Mueller et al. (2012) é possível atingir maiores produtividades agrícolas, sem elevar a evapotranspiração, podendo até mesmo reduzi-la, por meio do manejo adequado do solo, dos nutrientes e da água. Países com maior estágio de desenvolvimento possuem maior capacidade de implementar tecnologias agrícolas do que os países em desenvolvimento, (MEKONNEN E HOEKSTRA, 2014). É desejável avaliar o impacto nos valores de pegada verde, considerando as melhores tecnologias e práticas agrícolas (e.g., manejo preciso de fertilizantes, rotação de culturas, redução da evapotranspiração

não produtiva e melhor aproveitamento de água da chuva) (LOVARELLI et al., 2016).

Quanto a água verde da pastagem, contabilizou-se somente a água referente a porção de pasto ingerida diariamente pelos animais. Assim o total de água verde consumido pelos 14 animais foi de 403 m³. Na bovinocultura as pastagens são muito importantes. Segundo Eastridge (2006), as pastagens são parte vital da dieta para o gado leiteiro manter a saúde do rúmen e, em muitos casos, para reduzir os custos associados à alimentação. O correto manejo da pastagem é essencial para aumentar a biomassa produzida e a eficiência de uso da água pelo sistema (BEKELE et al., 2017).

A pastagem ingerida pelo Grupo 1 apresentou um consumo de 198 m³ de água verde, enquanto no Grupo 2 esse volume foi de 205 m³. O cálculo considerou a mesma ingestão de matéria seca de pastagem para ambos os Grupos. A diferença nos resultados ocorreu em função do período de permanência dos animais em lactação. Como o Grupo 2 teve um maior número de animais com lactação superior a dez meses, a ingestão de pasto foi maior e acabou impactando volume de água verde.

A quantificação de água verde em sistemas de produção que incluem o pastejo tem, basicamente, duas interpretações. Considerar somente a porção de alimento que foi ingerida pelo animal ou a evapotranspiração da área total do sistema de pastejo. Neste estudo optou-se pelo cálculo, considerando somente a porção de pasto ingerida pelos animais. Se ao invés de considerar somente a ingestão de forragem dos animais, fosse considerado a área total do sistema de pastejo rotacionado (1,7 ha), o consumo de água verde seria 95% maior. Ainda não há uma padronização metodológica para o cálculo da água verde consumida pelo sistema de pastejo. Sabe-se que em um sistema de pastejo rotacionado toda a área contribui para a produção dos produtos leite ou carne em determinado momento do ciclo produtivo e que, esse sistema, não presta outros serviços produtivos e/ou ambientais.

As necessidades hídricas para produção da soja e do milho foram supridas pela água verde. Esta é uma característica das regiões tropicais e das maiores regiões produtoras do Brasil devido ao fato dos índices pluviométricos satisfazerem as demandas das culturas. Palhares, Morelli e Costa Junior (2017) a maior porcentagem de água verde na pegada hídrica total confirma a importância da

precipitação, isso demonstra o porquê da agricultura e a pecuária brasileiras terem uma vantagem competitiva em comparação a outros países. Bekele et al. (2017) a principal restrição a produção de ruminantes na maioria dos países em desenvolvimento é a falta de alimentos, cuja produção é, muitas vezes, impedida pela escassez de água. Owusu-Sekyere et al. (2016) uma vez que a água verde é o maior contribuinte no valor da pegada hídrica total de bovinos de corte, deve ser dada especial atenção a produção dos ingredientes das dietas dos animais, pois quanto mais preciso o manejo agrícola, menor a pegada hídrica da proteína animal.

Neste estudo para produção $6,6 \text{ t ha}^{-1}$ de milho demandou-se 3.246 m^3 de água verde. Em estudo feito na Tailândia essa quantidade foi de $3.756 \text{ m}^3 \text{ ha}^{-1}$, porém, apenas 27% desse valor teve como fonte água verde (GHEEWALA et al., 2014). Na Indonésia para se produzir uma tonelada de milho foi necessário 2.395 m^3 de água verde e 75 m^3 de água azul (BULSINK et al., 2009). Neste estudo, o consumo de água verde por tonelada de milho foi de $494,2 \text{ m}^3$. Embora essas comparações se deem entre países localizados na zona tropical, as diferenças entre os manejos produtivos e, conseqüentemente, as produtividades da cultura, irão impactar no valor do consumo de água verde. Bai et al. (2017) a mesma cultura vegetal pode apresentar diferentes consumos de água devido as diferentes localizações geográficas em que são produzidas. A localização geográfica é um aspecto crítico quando se avalia o consumo de água pelas culturas vegetais. De preferência, a produção vegetal deve se dar em bacias hidrográficas ou regiões com significativa disponibilidade hídrica.

O Paraná, estado considerado como origem do milho consumido pelos animais, está localizado na zona subtropical, caracterizada por significativa precipitação em todas as épocas do ano. Fancelli (2015) afirma que o suprimento hídrico adequado é fundamental para o pleno desenvolvimento dos vegetais, visto as múltiplas funções que a água desempenha na fisiologia das plantas e a influência que exerce nos processos metabólicos das plantas.

O consumo de água por hectare de soja produzida foi de 5.589 m^3 . Deste total, a parte referente ao farelo de soja é de $4.304 \text{ m}^3 \text{ t}^{-1}$. O consumo de água verde por tonelada de soja produzida foi de 1.364 m^3 . Segundo Bulsink et al. (2009) o volume de água verde utilizada para produção de uma tonelada de soja é 1.644 m^3 . Ercin et al. (2012), considerando diferentes sistemas de produção de soja, obtiveram consumos de $1.753 \text{ m}^3 \text{ t}^{-1}$ em sistema orgânico e $1.860 \text{ m}^3 \text{ t}^{-1}$ em sistema

convencional. Possivelmente, o menor consumo de água verde por tonelada de soja verificado neste estudo, esteja relacionado as características produtivas da região tomada como referência, quais sejam: variedade precoce de soja e tratos culturais ideais. Os resultados obtidos por Abebe e Deressa (2017) mostram que a produtividade da soja está relacionada com a variedade da cultura (precoce ou tardia) e aos tipos e quantidades de fertilizantes (químico ou orgânico), empregados.

Como apresentado na Tabela 4 a quantidade de água via ingestão de concentrado foi a mesma para ambos os grupos, 2,5 m³. Contudo, a produção do milho e da soja utilizados na dieta de cada grupo demandou diferentes quantidade de água verde. Para o Grupo 1 a demanda de água para produção do milho foi de 8.101 m³ e de 11.780 m³ para o farelo de soja e para o Grupo 2, 8.977 m³ para o milho e 9.403 m³ para o farelo de soja. Os animais do Grupo 1 consumiram menos milho e mais farelo de soja do que os do Grupo 2. No Grupo 2, como a exigência proteica acompanhava o desempenho dos animais, utilizou-se dietas com menores conteúdos de proteína e, conseqüentemente, demandou-se menor quantidade de farelo de soja.

A silagem de milho foi fornecida aos Grupos no período de abril a outubro de 2015. A mesma quantidade de silagem foi fornecida para cada um dos 14 animais. A silagem consumida pelo Grupo 1 representou o volume de 1.448m³ de água verde e do Grupo 2, 1.478m³. Se a prática de irrigação não tivesse sido utilizada no período seco, os animais precisariam ser totalmente suplementados com volumoso a base de silagem de milho. Essa situação faria com que o consumo de água verde do Grupo 1 aumentasse em 6,8% e do Grupo 2 em 7,7%. E conseqüentemente o consumo de água azul dos Grupos reduziria em 72,8 % pelo não uso da irrigação.

4.2 Água azul

A pegada azul do Grupo 1 foi 67,7 L kg⁻¹ de FPCM de leite e do Grupo 2 de 64,6 L kg⁻¹ de FPCM de leite. Uma diferença de 3,1 L kg⁻¹ de FPCM de leite que se deu em função da ingestão de água e da produção de leite. No Grupo 1 a composição da pegada hídrica azul foi 93,35% (63,23 L kg⁻¹ de FPCM de leite) água de irrigação, 5,36% (3,63 L kg⁻¹ de FPCM de leite) água de dessedentação e 1,28% (0,87L kg⁻¹ de FPCM de leite) água no produto. Para o Grupo 2 essas percentagens representaram 93,34% (60,33 L kg⁻¹ de FPCM de leite) água de irrigação, 5,31%

(3,43 L kg⁻¹ de FPCM de leite) água de dessedentação e 1,35% (0,87 L kg⁻¹ de FPCM de leite) água no produto (Gráfico 1). O valor das pegadas para ambos os Grupos é semelhante ao calculado por De Boer et al. (2013) de 66 L de água azul para a produção de 1 kg de FPCM de leite. Mas a composição da pegada calculada pelos autores foi diferente da avaliada neste estudo, 76% água de irrigação, 15% água para produção de concentrados e 8% água de dessedentação dos animais e serviços de limpeza. A pegada hídrica azul da produção de leite já foi calculada em várias localidades do mundo e apresenta valores distintos (Tabela 1). Owusu-Sekyere, Scheepers e Jordaan (2017) revelam que na África do Sul são necessários 97 L de água azul para produzir 1 kg de leite, com 3,3% de proteína e 4% de gordura.

Gráfico 1 - Percentuais de água azul nos valores da pegada hídrica dos Grupos

Fonte: dados da pesquisa do autor.

Murphy et al. (2017), justifica alguns motivos dos contraste entre os valores e explica que em alguns sistemas de produção, como em locais onde ocorre pouca precipitação, a água azul está associada a utilização da irrigação empregada na produção de alimentos para os animais; mas em contrapartida, existem sistemas que não dependem de irrigação, como em locais providos de boas precipitações, que acabam usando a água azul em menor quantidade e alocando-a para outra finalidade.

De acordo com Girard (2012), há a falta de conhecimento a respeito da demanda de água dos animais. Obviamente, estar ciente desta situação é o primeiro passo em direção à melhoria da eficiência de uso da água para produção de proteína animal. Lovarelli et al. (2016) afirmam que a água azul apresenta custo

elevado para ser utilizada, pois está associada a um elevado custo de oportunidade, sendo que ao reduzir seu uso, ambos os custos de produção e impactos ambientais serão também reduzidos.

A perda de água de um animal é um processo contínuo, ocorre o tempo todo por meio da respiração, transpiração, eliminação de fezes e urina; em contraste, a ingestão de água pelo animal é episódica (KADZERE et al., 2002).

A ingestão de água é subdividida em três fontes: água contida no alimento, água de bebida e a água metabólica. A água metabólica é considerada uma fonte insignificante comparada a água de bebida e a contida no alimento (NRC, 2001). A somatória destas três fontes resulta no total de água consumida pelo animal.

Os animais do Grupo 1 apresentaram um consumo total médio de 83,3 L animal⁻¹ dia⁻¹ e os do Grupo 2, 80,4 L animal⁻¹ dia⁻¹. A ingestão de água individual média do Grupo 1 (59,6 L animal⁻¹ dia⁻¹) foi maior do que do Grupo 2 (56,7 L animal⁻¹ dia⁻¹). Os consumos médios nos bebedouros coletivos da sala de ordenha e nos piquetes foram 6,1 e 17,6 L animal⁻¹ dia⁻¹, respectivamente. Demais valores de consumo de água encontrados na literatura são semelhantes aos valores obtidos neste trabalho, 70,3 ± 14,3 L animal⁻¹ dia⁻¹ Holter e Urban Jr (1992); 81,5 L animal⁻¹ dia⁻¹ Meyer et al. (2004); 77,2 L animal⁻¹ dia⁻¹ Khelil-Arfa et al. (2012); 78,4 ± 2,6 L animal⁻¹ dia⁻¹ Appuhamy et al. (2016).

Os resultados demonstram que a composição dos concentrados impactou de forma significativa ($p < 0.05$) a ingestão de água dos grupos. Pesquisas mostram que as variáveis, MS, IMS e PB possuem, ainda que a última em menor intensidade, correlações positivas com a ingestão de água de vacas em lactação. Kume et al. (2010) demonstraram em um trabalho realizado com vacas secas e em lactação, que o aumento do percentual de proteína bruta na dieta e do teor de nitrogênio, determinaram o aumento do consumo de água para ambas as categorias. Os autores também concluíram que o consumo de água de bebida representou mais de 50% do total da água consumida. Para os animais em lactação, o consumo de água de bebida foi de 77,6 L animal⁻¹ dia⁻¹, o que representa 78,9% do total consumido.

De acordo com Appuhamy et al. (2016) a produção de leite é um dos principais indutores da ingestão de água devido à sua estreita relação com a IMS. Na ausência dos dados de IMS é possível determinar o consumo de água pela produção de leite. Na análise da produção de leite e da ingestão de água (Gráfico 2 e 3), observa-se que a ingestão aumenta até os animais atingirem o pico de lactação, e decresce até

a lactação cessar. Os maiores valores de consumo foram atingidos ao redor de quatro ou cinco meses após o início da lactação.

Gráfico 2 - Acompanhamento do desempenho produtivo na curva de lactação

Fonte: Dados da pesquisa do autor.

Gráfico 3 - Consumo de água individual no bebedouro eletrônico

Fonte: Dados da pesquisa do autor.

Considerando o período de lactação, que em média é de dez meses, os animais do Grupo 1 beberam 165,9 m³ e os do Grupo 2, 165 m³. Uma diferença de 900 litros no período. Entretanto, o consumo total da lactação, que foi de até 12

meses para alguns animais, aumentou os valores para 181 m³ e 179 m³, para o Grupo 1 e 2 respectivamente.

Berchielli et al. (2006), faz referência sobre a relação existente entre a ingestão de água e a de alimento, e afirma que o consumo de água é ainda influenciado por fatores como: a composição do alimento, temperatura ambiente e desempenho produtivo. Complementa esta afirmação o National Resource Council (2001), os fatores que afetam a ingestão de água pelos animais são: a ingestão de matéria seca, a porcentagem de matéria seca e o teor de proteína bruta na dieta, a ingestão de sódio, a produção de leite e a temperatura ambiente. As variáveis ambientais também podem influenciar a ingestão de água e afetar a produção de leite. Porém, a quantificação dos efeitos ambientais diretos na ingestão de água é difícil, pois esta também é fortemente afetada por outros fatores como o manejo nutricional (FUQUAY, 1981 citado por KADZERE et al. 2002).

Além do teor de proteico do concentrado, também foram analisadas as influências das variáveis ambientais, (temperatura, umidade relativa e precipitação), no volume de água consumido pelos animais. Segundo West et al. (2003a), fatores ambientais como, velocidade do vento, umidade relativa, e temperatura ambiente, contribuem para o grau de estresse térmico do animal, no que refere-se as respostas produtivas ou fisiológica da vaca.

O Gráfico 4 ilustra o perfil da temperatura média nos meses em que os grupos estavam equiparados em número de animais. A análise conjunta entre os dados dos Gráficos 3 e 4, mostram que os maiores consumos de dessedentação ocorreram nos meses das estações frias do ano e os menores consumos nas estações quentes. Na estação do inverno, as vacas estavam em seu pico de lactação, sendo que nos meses quentes já tinha havido a redução da produção de leite. Isso pode justificar a correlação negativa entre temperatura e consumo de água (Gráfico 5).

Brugger (2007), num estudo em fazendas leiteiras, observou uma correlação direta entre a água consumida e a temperatura ambiente. Durante os meses mais quentes, o consumo de água foi maior. Por outro lado, mensurando a cinética do nitrogênio de vacas em lactação sob influência de diferentes temperaturas, Obitsu et al. (2011) assegura que nem o volume de urina nem o consumo de água foram afetadas por alterações na temperatura ambiente.

Gráfico 4 - Perfil da temperatura ambiente ao longo do período de lactação

Fonte: Dados da pesquisa do autor.

Uma vez que coeficiente de determinação (R^2), representa o efeito de causalidade entre as variáveis, observa-se no Gráfico 5, que o consumo de água do Grupo 1 respondeu muito mais a variação da temperatura do que o Grupo 2.

Embora não haja comprovações científicas que permitam associar a manipulação do teor de proteína a uma proteção contra os efeitos relacionados aos fatores ambientais é sabido da existência de estratégias que ajudam reduzir os impactos causados na fisiologia e produção dos animais pelas variáveis ambientais, entre as quais destaca-se o manejo nutricional.

Gráfico 5 - Consumo de água em função da temperatura média

Fonte: Dados da pesquisa do autor.

West (2003b), salienta que a ingestão de água está fortemente associada a produção de leite e a ingestão de matéria seca. E explica que, quando a temperatura ambiente aumenta, a ingestão de matéria seca pelos animais tende a diminuir. O autor esclarece ainda, que a tendência de aumentar a proteína na dieta acima das exigências, acaba por acarretar em custo energético para degradar o excesso de proteína na dieta.

Concentrados com alta densidade energética, inclusão de óleos nas dietas e suplementação de ácido graxo saturado, são algumas estratégias utilizadas para diminuir a temperatura corpórea durante o período de estresse térmico e aumentar a produção de leite (WANG et al., 2010; SLIMEN et al., 2015).

Isso possibilita ampliar o entendimento sobre os desafios enfrentados pelos grupos. Pode-se inferir que a exigência fisiológica sobre os animais do Grupo 1 foi mais intensa do que para os do Grupo 2. A eliminação do excesso de proteína ingerida, embora não tenha sido avaliada neste trabalho, possivelmente foi mais dificultosa e que exigiu mais (em termos energéticos) daqueles que ingeriram mais proteína do que daqueles que ingeriram menos.

O volume de água contido no leite dos animais do Grupo 1 (43,3 m³) teve menor impacto sobre o valor da pegada azul do que do Grupo 2 (45,4 m³). Este resultado deve ser ponderado, pois os animais mais produtivos do Grupo 2, tiveram o volume de água azul aumentado em função do maior conteúdo de leite produzido. O grupo com menor consumo de água de dessedentação produziu maior quantidade de leite. Isso reduziu a participação da água de dessedentação na pegada azul do Grupo 2, e aumentou a participação da água do produto. O ajuste do teor de proteína da dieta contribuiu para reduzir o consumo de água de dessedentação. E como a pegada é uma relação do consumo de água pela quantidade de produto, a maior produção de leite do Grupo 2 impactou positivamente o valor da pegada, conferindo a este grupo maior eficiência no uso do recurso natural.

Em uma comparação entre sistemas de produção de leite a pasto Sultana et al.(2014), revela que no Brasil são usados 103 L de água azul por kg ECM de leite, em contraste, na Nova Zelândia são utilizados 42 L kg⁻¹ ECM de leite. O reduzido volume de água azul encontrado na Nova Zelândia ocorre em função da não utilização de irrigação na produção do pasto, de forma que a maior contribuição da água azul no local seja direcionada a dessedentação animal.

A irrigação representou o maior consumo de água azul, total de 6.297 m³ no período, o qual foi dividido entre os grupos em função do compartilhamento da pastagem pelos animais. A prática de irrigação foi utilizada por 97 dias durante o período seco (maio a setembro de 2015). Se não houvesse a necessidade de se irrigar a pastagem, os valores de pegada hídrica azul seriam reduzidos em 15 vezes.

Estudando diferentes sistemas de irrigação, Johansoon et al. (2016), mostram que a irrigação é fundamental para aumentar a produtividade das culturas agrícolas, mas pelo fato da técnica estar associada ao consumo de água azul, o tipo de sistema irrigação tem influência sobre o volume de água utilizado, podendo variar até 40% para alcançar o mesmo patamar produtivo. Adeyemi et al. (2017), discutem a importância da incorporação de técnicas de irrigação de precisão, para o fornecimento de água em quantidade adequada a cultura, de forma mais eficiente, com contribuições na qualidade e produtividade das culturas. Segundo Al-Karadsheh et al. (2002), a capacidade de fornecer a quantidade de água ideal, é uma forma de proteger os recursos hídricos e favorecer o meio ambiente, pois evita o escoamento excessivo de água e a lixiviação.

A utilização de pastagens de inverno é uma das estratégias que se dispõe para reduzir os custos de alimentação com concentrado e silagens neste período do ano. Essa estratégia exige conhecimentos e planejamento prévio para que seja efetiva, considerando as boas práticas agrícolas e o manejo adequado.

4.2.1 Índice de escassez

Quando a pegada hídrica azul foi analisada sob o contexto do índice de escassez hídrica, não houve diferença entre os Grupos. Para ambos os Grupos o índice foi de 0,6%. Este resultado aponta que a pegada hídrica de cada Grupo consumiu somente 0,6% da disponibilidade de água superficial e subterrânea anual da propriedade. Isso significa que a apropriação da água não excedeu a disponibilidade de água azul e não impactou os fluxos ambientais. Palhares e Pezzopane (2015) os autores defendem que embora possa não existir a necessidade de reduzir a pegada hídrica azul o uso mais eficiente de água ainda é importante, tanto para manter a produção e os serviços ambientais, bem como para disponibilizar água para outras atividades.

Cabe ressaltar que segundo Hoekstra et al. (2012a) a escassez de água azul observada em base anual pode apresentar uma visão incompleta da escassez hídrica, pois mesmo em áreas com abundância do recurso, há variabilidade intra-anual que pode limitar severamente a disponibilidade de água azul em certo período. Murphy et al. (2017) posicionam-se no mesmos sentido e explicam que em função da existência de estações secas e úmidas, a sazonalidade pode afetar a escassez de água devido a mudança no perfil de evaporação durante o ano.

Na região sudeste do Brasil, as reduzidas taxas de precipitação na estação mais fria representa um desafio hídrico maior comparado a estação mais quente. Devido ao ciclo de lactação dos animais ter sido iniciado em abril, pode-se afirmar que a maior demanda hídrica de todo período produtivo recaiu sobre a estação de inverno pela necessidade de irrigação das pastagens e, pelo pico de lactação também ter ocorrido nesta estação, momento em que os animais têm alta exigência hídrica de dessedentação. Acredita-se que não seja o caso da propriedade de estudo devido a sua elevada oferta de águas superficiais e subterrâneas, mas estudos para locais de menor disponibilidade de água azul devem considerar o cálculo do índice para cada mês a fim de identificar se em algum período do ciclo produtivo a demanda supera a disponibilidade hídrica.

4.3 Água cinza

O Grupo 1 apresentou valores maiores de pegada hídrica cinza, tanto para o cálculo com base no nitrato quanto para o fósforo total, 2,2 e 16,8 L kg⁻¹ de FPCM de leite, respectivamente. No Grupo 2 as pegadas com base nesses elementos foram menores 2,0 e 14,6 L kg⁻¹ de FPCM de leite, respectivamente (Tabela 6). Os resultados demonstram que o excesso do teor de proteína na dieta faz com que se consuma mais água do ambiente para assimilar as cargas de poluentes gerados pelo sistema de produção. Os valores das pegadas, tanto no sistema de produção como no laticínio, foram maiores quando calculadas com base nas concentrações de fósforo total. Isto é devido ao padrão máximo permitido estabelecido por lei. De acordo com a legislação Conama 357 a concentração máxima aceitável de nitrato para um corpo d'água de Classe 3 é 10 mg L⁻¹ e 0,15 mg L⁻¹ para o fósforo total. Ao integrar a eficiência de uso de nutrientes com o cálculo da pegada hídrica cinza foi possível identificar a relação entre o tipo de dieta, o potencial poluidor e o valor das

pegadas. Isso também permitiu aprofundar o conhecimento das relações entre o valor da pegada cinza de fonte difusa com o manejo nutricional dos animais.

Os Grupos experimentais apresentaram diferentes eficiências de uso de nutrientes, e conseqüentemente, tiveram distintas concentrações de nutrientes em seus resíduos. A diferença dos valores de pegada entre os grupos indica que o efluente gerado pela dieta proteína fixa possuía maiores concentrações de nitrogênio e fósforo em comparação com a dieta de proteína ajustada. Portanto, a dieta com proteína ajustada permitiu uma redução do potencial poluidor e por este motivo necessitou de um menor volume de água para diluir o efluente.

White et al. (2016) a nutrição animal age em prol da melhoria de eficiência de uso das proteínas e energia, aumentando a produtividade animal e facilitando o manejo ambiental devido as menores quantidades de nutrientes a serem dispostos. Owusu-Sekyere, Scheepers e Jordaan (2017), destacam que é importante considerar nas formulações das dietas alimentos que atendam todas as demandas dos animais e tenham menor consumo de recursos naturais. Bai et al. (2017) relataram que a concentração de nitrogênio dos efluentes leiteiros foi o principal elemento no valor da pegada hídrica cinza. Os autores sugerem duas ações mitigatórias para reduzir o valor desta pegada: diminuir a entrada de proteína no sistema e/ou utilizar tecnologias avançadas de tratamento de efluentes para remoção do nitrogênio.

Tabela 6 - Pegada hídrica cinza baseada nos elementos nitrato e fósforo total

Nitrato	Grupo 1	Grupo 2
Consumo de água cinza no Sistema de Produção	0,7	0,6
Consumo de água cinza no Laticínio	1,5	1,4
Pegada hídrica cinza (L kg⁻¹ de FPCM de leite)	2,2	2,0
Fósforo total		
Consumo de água cinza no Sistema de produção	9,4	7,5
Consumo de água cinza no Laticínio	7,4	7,1
Pegada hídrica cinza (L kg⁻¹ de FPCM de leite)	16,8	14,6

Fonte: Dados da pesquisa do autor.

Kleinman et al. (2015), a gestão dos nutrientes em um sistema de produção animal, o entendimento de como essa gestão pode afetar a qualidade dos recursos

hídricos e a implementação de estratégias de manejo, devem ser trabalhados em conjunto pois se complementam e são fundamentais para gestão ambiental dos sistema.

A conexão entre os aspectos produtivos é essencial. Por exemplo, dietas com baixos valores de pegada verde e ou azul, podem resultar em altos valores de pegada cinza, pois se não houver boa digestibilidade dos nutrientes estes serão eliminados pelas fezes e urina, afetando consideravelmente o volume de água cinza. Assim, na produção animal, a poluição que essa pode causar as águas também está relacionada com o aproveitamento dos nutrientes pelos animais. Utilizar ingredientes nas dietas tomando-se como preceito a digestibilidade destes e a consequente excreção de nutrientes é uma decisão que poderá reverter em menores passivos ambientais e um manejo nutricional de maior precisão. Palhares et al. (2017), afirmam que para reduzir a pegada hídrica cinza é importante abordar o sistema de produção como um todo, especialmente o manejo nutricional, pois esta é uma forma mais lógica para se reduzir o potencial poluidor e dar maior viabilidade o manejo dos resíduos.

Os valores das pegadas mostram que foi necessário o meio ambiente assimilar a carga de poluentes, o que se dá pelo consumo de água da natureza, gerada por ambos os grupos para manter os padrões de qualidade ambiental determinados pela legislação. Por tratar-se de uma fonte de poluição difusa, as concentrações totais contidas nos efluentes não atingem na sua totalidade os corpos d'água. Assim, apenas uma fração da quantidade total alcança as fontes superficiais e subterrâneas.

O excesso de nutrientes pode ser transportado para superfície da água ou liberado na atmosfera, causando problemas ambientais tais como, poluição da água e do ar, emissão de gases de efeito estufa, e doenças respiratórias. (Jungbluth et al., 2001; Donham et al., 2007; Derlet et al., 2010). Carpenter (2008) o escoamento superficial de áreas fertilizadas em excesso carregam nutrientes, os quais desencadeiam o crescimento de algas, que por sua vez causam o esgotamento do oxigênio dissolvido na água quando há a senescência e decomposição das algas, resultando na mortandade de peixes. Bradford et al. (2008) para mitigar a ameaça do enriquecimento potencial de nutrientes das fezes, práticas efetivas de manejo devem ser conduzidas. Hooda et al. (2000) melhores práticas de manejo nutricional, coleta, armazenamento e aplicação dos resíduos e efluentes no solo devem

adotadas baseadas no entendimento de como essas se relacionam com a carga de nutrientes proveniente do sistema de produção.

Muitos estudos que calculam a pegada hídrica dos produtos de origem animal baseiam-se nos requisitos nutricionais básicos, como: teor de matéria seca na dieta e ingestão de matéria seca. Esses estudos não verificam se as exigências proteica, energética e de minerais são atendidas para expressar o máximo desempenho do animal e garantir o menor passivo ambiental. Tessari et al. (2016) apontam a necessidade da inclusão nos cálculos das pegadas ambientais dos produtos de origem animal das exigências nutricionais dos animais.

4.4 Análise do investimento da cisterna como fonte de água alternativa

De acordo Hoekstra, et al. (2011) a coleta de escoamento superficial, como no caso da água da chuva, pode ser classificada como o uso consuntivo e consumo de água azul. A cisterna permitiu que se diminuísse a captação de água do poço, além dos gastos com energia empregada no processo de lavagem do piso da ordenha. O fato de usar água da chuva, ao invés de água do poço, favorece o meio ambiente, pois, a implantação da cisterna permite o aumento do fluxo de água subterrânea, contribuindo para conservação dos serviços ecossistêmicos que dependem desta fonte.

Neste estudo, a água utilizada na limpeza do piso da ordenha não foi classificada como consumo de água azul, pois após a captação e utilização ela era, imediatamente, devolvida para a mesma microbacia hidrográfica. No entanto, devido ao fato de correr alteração da sua qualidade pelo aporte de fezes e urina, esse uso foi considerado como consumo de água cinza.

O benefício ambiental, entendido como a substituição do consumo de água subterrânea pela água da cisterna, foi verificado. A cisterna proporcionou uma oferta de 124,8 m³ de água no ano de 2016. Isso representou 44% do total de água consumida no ano para limpeza de piso. Portanto, essa quantidade deixou de ser captada do poço.

A análise econômica considerou a viabilidade financeira da implantação de um sistema de captação de água chuva e armazenamento em cisterna e os benefícios ambientais proporcionados pela tecnologia. Portanto, o estudo se propôs a avaliar duas dimensões da sustentabilidade a econômica e a ambiental.

Amos et al. (2016) destacam que a análise econômica de sistemas de captação de água chuva tem importante papel na busca de soluções tecnológicas visando a segurança hídrica, principalmente em países em desenvolvimento, e que esses trabalhos são escassos na literatura científica. De acordo com Morales- Pizón et al. (2015), diferentes critérios podem ajudar a determinar a viabilidade econômica. Os custos e benefícios da implantação de um sistemas de captação de água da chuva dependem de vários fatores, Hajani e Rahman (2014) explicam que eles podem variar em função do tamanho da cisterna, do tipo de uso da água e da localização do investimento, visto que o regime de chuva é diferenciado para cada local.

Os resultados mostraram que o investimento não foi viável financeiramente (Tabela 7), pois, obteve-se apenas ganhos marginais com a economia de água e energia, de forma que, não foi possível ter um retorno sobre o investimento, inviabilizando portanto, a amortização do investimento em um horizonte de dez anos. Liang e Van Dijk (2011), afirmam que os sistemas de captação de água da chuva não são viáveis financeiramente porque implicam na necessidade de investimento por parte do usuário, o que acaba se tornando menos atraente financeiramente comparado a qualquer outra fonte de água que não incida a cobrança.

Deve-se destacar que o resultado financeiro poderá ser diferente para outros anos devido a diferenças que possam existir em relação ao consumo de água e preço da energia. Por exemplo, maior precipitação, significa maior quantidade de água armazenada, ou, se o responsável pela limpeza do piso da ordenha executar a tarefa utilizando menor quantidade de água, o volume de água armazenado será utilizado por mais dias, deixando de acionar a bomba do poço. Portanto, em função das condições climáticas e das especificidades do sistema de produção, que se alterarem ano após ano, os resultados financeiros serão diferentes e o investimento poderia ser pago em mais ou menos tempo.

Contudo, o investimento pode ser viável financeiramente se a situação produtiva, ao invés de abundância do recurso for de escassez hídrica, e isso signifique compra de água, por exemplo, de caminhões-pipa. Nesta situação a cisterna representará uma economia de custo muito mais significativa do que a substituição de fontes hídricas. Segundo Souza e Gisi (2012), há parâmetros específicos para cada sistema de captação de água da chuva, razão pela qual deve

haver um estudo único para cada caso. Assim a cisterna pode ser uma alternativa viável financeiramente, dependendo desses parâmetros e da realidade produtiva.

A partir do desenvolvimento de um cenário econômico com simulações do preço da água foi possível pagar o investimento com um payback de 8 anos e 2 meses. Mesmo assim, isso significaria um aumento muito elevado no preço da água, que representaria 164 vezes o atual valor da água cobrado pelo comitê de bacia hidrográfica. Os preços deveriam passar de R\$ 0,013 para R\$ 2,13 o m³ da água captada e de R\$ 0,026 para R\$ 4,26 o m³ da água consumida.

Os resultados mostram que, os valores das tarifas aplicadas na cobrança da água para o setor pecuário, podem não ter o efeito desejado pelo instrumento da cobrança que é promover a economia do recurso e a adoção de tecnologias conservacionistas no consumo de água. Será mais vantajoso para o produtor continuar captando água das fontes superficiais e subterrâneas do que optar pelo investimento em uma fonte alternativa de água.

Para Morales – Pizón et al. (2014) o preço da água é a consideração mais importante na análise ambiental e financeira dos sistemas de captação de água da chuva. Silva e Carvalho (2015) consideram que a viabilidade econômica de sistemas de captação de água da chuva dependem do balanço entre investimento, custos de manutenção e operação do sistema e redução do custo do fornecimento de água.

De acordo com Gomez et al. (2017), subsidiar o recursos básico aos consumidores é importante para aumentar a cobertura, e melhorar a distribuição do recurso entre as classes sociais; mas dependendo do tipo de subsídio, há consequências como o aumento de consumo de água, e ao mesmo tempo, menor atratividade das tecnologias alternativas de fornecimento de água.

Conclui-se o quão difícil é fazer com que políticas públicas que estimulem a economia hídrica sejam eficazes e eficientes; e justifica-se a necessidade de se ter outras alternativas para estimular a conscientização do valor ambiental da água, pois aos atuais preços pelo pagamento da água podem não ser as forças econômicas que vão criar o incentivo para conscientização dos cidadãos. Em um estudo sobre evolução social do valor atribuído aos recursos hídricos Wei et al. (2017) relata que a transição deste valor foi um processo lento na Austrália, levando mais de 100 anos pra ocorrer, e que não aconteceu até que houvesse claras evidências de escassez e poluição das águas decorrente do intenso desenvolvimento econômico. As respostas das políticas governamentais foram mais lentas do que as mudanças nos

valores sociais, assim como foram mais lentas iniciativas políticas em relação as ações ambientais.

Tabela 7- Análise de investimento da implantação do sistema de captação de água da chuva no sistema de produção de estudo

Custos	
Valor do Investimento	R\$ 6.930,91
Benefícios	
PUB captação ¹ (m ³)	R\$ 0,013
PUB consumo ² (m ³)	R\$ 0,026
Valor econômico da economia de água no ano de 2016	R\$ 4,87
Valor econômico da economia de energia no ano de 2016	R\$ 61,77
Taxa de Juros	
Juros ao ano (%)	6
Juros ao mês (%)	0,49
Indicadores econômicos	
Payback simples	—
TIR (%)	- 3 am
VPL (R\$)	- 6.392,83
Indicadores econômicos (novo cenário)	
PUB captação ¹ (m ³)	R\$ 2,13
PUB consumo ² (m ³)	R\$ 4,26
Payback simples (anos)	8 e 2 meses
TIR (%)	0,5 am
VPL (R\$)	0,37

Fonte: Dados da pesquisa do autor.

Legenda: ¹preço unitário básico para a captação superficial de água, ²preço unitário básico para o consumo de água.

4.5 Balanço de nutrientes

O balanço de nutrientes é um indicador amplamente utilizado para avaliar o risco de perda de nutrientes para o meio ambiente (HUHTANEN et al., 2011). Tanto na produção agrícola quanto na pecuária, o balanço de nutrientes tem sido usado para tomada de decisão, haja vista que o excesso de elementos, como o nitrogênio (N) e o fósforo (P), representam potenciais riscos de poluição (HOANG e NGUYEN, 2013). O excesso de nutrientes no ambiente pode causar efeitos adversos nas águas superficiais e subterrâneas, nos solos e na atmosfera. De acordo com Neeteson (2000), a lixiviação de nitrato e fósforo pode afetar a qualidade da água utilizada para dessedentação humana e animal e o escoamento superficial destes elementos pode induzir ao crescimento de algas, que levam a morte de organismos aquáticos e a perda da biodiversidade.

Nas Tabelas 8 e 9 são apresentados os balanços de nutrientes e a eficiência de uso de cada elemento por grupo experimental. A eficiência do uso dos nutrientes indica o quanto das entradas foi recuperada no produto leite. Os resultados demonstraram que a manipulação do teor de proteína do concentrado promoveu impactos benéficos no balanço, a quantidade total de nitrogênio e fósforo retida no sistema foi menor no Grupo 2. Conclui-se que é possível reduzir as perdas de nutrientes e aumentar a eficiência de uso destes por meio da redução do teor de proteína do concentrado. Apesar do efeito benéfico da manipulação proteica, ambos os grupos apresentaram balanços finais positivos para todos os elementos. Soberon, et al. (2013), explicam que valores negativos do balanço sugerem que mais nutrientes estão saindo, do que permanecendo na fazenda e que balanços positivos indicam ineficiência de uso de nutrientes e aumento do risco ambiental.

O excesso de nitrogênio para sistemas de leite apresentados na literatura varia de 155 kg N ha⁻¹ ano⁻¹ a 295 kg N ha⁻¹ ano⁻¹ (Mihailescu et al., 2014). Para o fósforo essa variação é de -7 kg P ha⁻¹ ano⁻¹ a 133 kg ha⁻¹ ano⁻¹ (Buckley et al., 2013). Palhares (2013) calculou um excesso de N e P de 347 kg de N ha⁻¹ ano⁻¹ e 52 kg de P ha⁻¹ ano⁻¹. Novelli e Palhares (2015) avaliaram um sistema orgânico de produção de leite, sendo o excesso de nutrientes de 441 kg de N ha⁻¹ ano⁻¹ e 374 kg de P ha⁻¹ ano⁻¹.

Os balanços mensais de N e P (Apêndices) demonstraram que as maiores entradas destes elementos foram provenientes, do concentrado, seguido pela

pastagem e pela silagem. Gourley et al. (2015) e Buckley et al. (2016) observaram o mesmo padrão em sistemas de produção de leite a pasto. Nos meses de maio e junho de 2015, devido as condições desfavoráveis ao desenvolvimento vegetal, a oferta de pasto pelo sistema de pastejo rotacionado foi muito baixa, representando menos de 3% das entradas. Neste período, o concentrado representou em média 80% das entradas do Grupo 1 e 90% do Grupo 2. Isso demonstra a alta dependência que, mesmo em um sistema a pasto pode ter de insumos externos se não for previsto o manejo de pastagens de inverno.

Tabela 8 - Balanços de nutrientes por grupo experimental, referente ao período de estudo

Parâmetros	Grupo 1	Grupo 2
Entradas (Kg)		
Nitrogênio (N)	1244,4	1173,2
Fósforo (P)	235,1	226,7
Potássio (K)	652,2	715,1
Saídas (Kg)		
Nitrogênio (N)	281,7	303,8
Fósforo (P)	139,9	168,9
Potássio (K)	107,1	113,2
Balanço (Kg)		
Nitrogênio (N)	962,7	869,4
Fósforo (P)	95,2	57,8
Potássio (K)	545,1	601,9

Fonte: Dados da pesquisa do autor.

O balanço de nitrogênio foi positivo para o Grupo 1, 962,7 kg de N permaneceu no sistema, e no Grupo 2 esse valor foi de 869,4 kg de N. A principal diferença entre os balanços de N, se deve aos diferentes teores de proteína dos concentrados fornecidos aos grupos. O concentrado com teor de proteína fixo (20%), foi responsável pela entrada total de 765,8 kg de N no sistema, em média 61,6% das entradas no período. O concentrado com ajuste proteico inseriu 11,2% a menos de nitrogênio no sistema. A maior eficiência de uso do nitrogênio até os 120 dias de lactação foi obtida pelo Grupo 1. No mesmo período, o Grupo 2 estava consumindo

concentrado com 23% PB, e obteve menor eficiência. O que atesta que o excesso de proteína não significa benefícios produtivos.

A partir dos 120 dias de lactação, houve a redução da proteína do concentrado fornecido ao Grupo 2. Os animais desse grupo passaram a consumir ração com 16,99 % de PB. Teor que foi ainda reduzido para 14,51 % no mês de novembro, permanecendo até o final do período. A partir da redução do teor de proteína, a eficiência de uso do nitrogênio do Grupo 2 aumentou, passando a ser maior até mesmo do que os valores registrados durante o pico de lactação. Colmenero e Broderick (2006), relatam que com aumento percentual de proteína na dieta de 16,5% para 19,4 %, houve um declínio de 5,4 unidades percentuais na eficiência de uso do N.

Powell et al. (2010) devido ao maior controle dos níveis de nutrientes fornecidos, principalmente em relação a proteína, os animais leiteiros criados em sistemas experimentais apresentam maior eficiência de uso de nitrogênio do que aqueles criados em sistemas a pasto. Segundo Chase¹ (2003, apud POWELL, 2010, p. 217-228) eficiência de uso de nitrogênio menor que 20% seria classificada como muito baixa, 20 a 25% possibilidade de aumento e 30 a 35% eficiência média e acima de 35%, eficiência excelente. O ajuste da oferta de nitrogênio dos alimentos de acordo com a exigência do animal e a seleção de animais mais eficientes pode aumentar a eficiência de uso do elemento. Soberon et al. (2013), destaca que em sistemas biológicos nunca haverá eficiência de uso de nutrientes de 100%. De acordo com Oenema (2006) aumentar a eficiência de uso dos nutrientes é fundamental para garantir a segurança da produção de alimentos, preservar a saúde humana, conservar o meio ambiente, economizar recursos naturais escassos e manter as áreas florestais.

Dentre os resultados de eficiências de uso de nutrientes obtidos (Tabela 9), observa-se que os animais tiveram maior capacidade, em termos percentuais médios, de recuperar o elemento fósforo. Do total das entradas de fósforo no Grupo 1, 72,4% se refere ao concentrado, 19,7% a pastagem e 7,9% a silagem. No Grupo 2 esses percentuais foram de 70,4% para o concentrado, 21,2% para a pastagem e

¹ CHASE, L.E. Nitrogen utilization in dairy cows: what are the limits of efficiency? In: CORNELL NUTRITION CONFERENCE FOR FEED MANUFACTURES, 2003, Syracuse, NY. **Proceedings...** Ithaca, NY: Cornell University, 2003, p. 233 - 245.

8,4% para a silagem. A maior diferença dos valores de P entre os Grupos foi registrado nas saídas. O Grupo 1 recuperou 139,9 kg de P no produto leite e o Grupo 2 168,9 kg P. Uma diferença de 29 kg de P para todo período de lactação. Essa diferença é resultado do maior volume de leite produzido pelos animais do Grupo 2, os quais apresentaram maior persistência na lactação.

Tabela 9 - Médias e medianas de eficiência de uso dos nutrientes (EUN) por grupo experimental

Média da Eficiência de Uso (%)	Grupo 1	Grupo 2
Nitrogênio (N)	22,2	25,7
Fósforo (P)	58,5	74,3
Potássio (K)	16,4	15,1
Mediana da Eficiência de Uso (%)	Grupo 1	Grupo 2
Nitrogênio (N)	22,7	26,2
Fósforo (P)	35,0	34,4
Potássio (K)	12,3	11,2

Fonte: Dados da pesquisa do autor.

Os resultados do balanço de fósforo indicam que ficou disponível no ambiente do sistema 95,2 e 57,8 kg de P, para os Grupo 1 e 2, respectivamente. Este fósforo estará presente na forma de tecidos e ossos e resíduos dos animais. Huhtanen et al. (2011) também conseguiram reduzir a quantidade de P no sistema utilizando estratégias nutricionais. Rowe et al. (2016), ressalta a importância da utilização do fósforo que fica no sistema produtivo como fonte de nutriente para os ciclos produtivos subsequentes, determinando benefícios econômicos e ambientais, como por exemplo a redução da aquisição de fertilizantes químicos.

O consumo de P por meio do concentrado teve pouca diferença entre os grupos, 10,6 kg no período. Esta diferença não foi devido a proporção de milho e farelo de soja utilizado elaboração do concentrado, pois de acordo com as análises laboratoriais, em ambos os concentrados havia em média 0,7% de P. Mas, possivelmente tenha ocorrido devido as quantidades ofertadas diariamente aos animais e também devido a diferenças no período de lactação.

Analisando a recuperação de P em função da produção de leite corrigido, verificou-se que o Grupo 1 recuperou de 0,9 a 11,8 g de P kg⁻¹ de FPCM durante a lactação e o Grupo 2, 0,9 a 12,6 g de P kg⁻¹ de FPCM. Portanto, houve diferença da

quantidade de P recuperado por unidade de leite corrigido entre os Grupos e também com relação aos dados encontrados na literatura. De acordo com o NRC (2001), a concentração média de P no leite é de $0,9 \text{ g kg}^{-1}$ de leite.

A partir de novembro, a quantidade de P recuperada no leite foi superior a quantidade de P introduzida no sistema. Assim como foi discrepante a saída de K em novembro em relação aos demais meses. Uma das hipóteses para esses fatos é a existência de interações entre nutrientes, e a consequente, ocorrência de um eventual distúrbio metabólico que possa ter acometido os animais nos períodos. Nos períodos referidos, os animais não apresentaram sinais clínicos de qualquer acometimento. Também foi constatada a ocorrência de maior concentração de cálcio no leite (dados não apresentados). Portanto, houve um desbalanço de P e K e isto, possivelmente, pode estar relacionado ao aumento da concentração de Ca no leite. De acordo com Pedreira e Berchielle (2006), dietas com altas concentrações de K, e desproporção nos teores de Ca e P favorecem a ocorrência de hipocalcemia. Contudo, Smith e Sherman (2009), afirmam que tanto a deficiência de Ca como a de P podem ser supridas por reservas corporais.

De acordo com o modelo do NRC 2001, dependendo da raça e da produção de leite as exigências de P na dieta dos animais varia de 0,32 a 0,38% e a de K de 1,0 a 1,07 %. As dietas do Grupo 1 forneceram em média $5,3 \text{ g de P kg}^{-1}$ de MS e $15,7 \text{ g de K kg}^{-1}$ de MS, o que representa respectivamente, 20% e 47% a mais de P e K. As dietas do Grupo 2 forneceram em média $5,0 \text{ g de P kg}^{-1}$ de MS e $16,7 \text{ g de K kg}^{-1}$ de MS, o que representa respectivamente, 14% e 56% a mais de P e K.

Os resultados dos balanços de N e P permitem concluir que o fornecimento de concentrado com teores de proteína bruta acima da necessidade dos animais, condiciona a maiores quantidades de nutrientes no sistema de produção e potencial risco para o meio ambiente. Essa constatação também é feita pelo National Resource Council (2001), o excesso de nutrientes na alimentação de bovinos, além de aumentar o custo nutricional, resulta em excessiva excreção de nutrientes para o ambiente.

O potássio é um elemento fundamental na produção vegetal. De acordo com Raven, Evert e Eichhorn (2007), o K é um macroelemento e está envolvido com o desenvolvimento de importantes funções nos vegetais, tais como: osmose, balanço iônico, abertura e fechamento dos estômatos, ativação de enzimas; e por isto é exigido em grande quantidade pelas plantas.

A maior recuperação de potássio na forma de produto foi observada no Grupo 2, que também apresentou a maior entrada do elemento. O Grupo 1 teve maior eficiência de uso do elemento. Há poucos trabalhos na literatura científica que apresentem o balanço de potássio em sistema leiteiros. Também verifica-se a não consideração do elemento no estabelecimento de padrões ambientais para descarte de efluentes em corpos d'água. De acordo com Organização Mundial da Saúde (2011), o potássio é um elemento essencial aos humanos e as concentrações naturais existentes na água raramente estão em níveis que possam representar riscos à saúde humana. As preocupações estão mais relacionadas com substâncias à base de potássio utilizadas nos tratamentos de água, como por exemplo o cloreto de potássio. Cella et al. (2014) embora as perdas de K pelos sistema de produção não sejam consideradas nas avaliações dos impactos ambientais, o balanço de K deve ser realizado a fim de identificar os efeitos nutricionais.

No balanço de potássio, diferentemente dos outros balanços, a maior fonte de entrada do elemento foi a pastagem. As entradas de potássio via pastagem representaram 57% e 54% para os Grupos 1 e 2, respectivamente. Altas concentrações de K foram encontradas nas análises de nutrientes do capim Tanzânia, variando de 31,5 a 33,1 g kg⁻¹ em outubro. Na literatura as concentrações encontradas de potássio para capim Tanzânia mostram valores de, 24,6 a 28,8g kg⁻¹ (Aguiar, 2004); 28,3 g kg⁻¹ (Santos Junior, 2005) 14,2 a 24,3 g kg⁻¹ (Silveira e Monteiro, 2010); e 16,4 g kg⁻¹ (Valadares Filho et al., 2016). Sattler e Fecteau (2014) afirmam que em uma dieta para ruminantes a forragem é a principal fonte de potássio. No balanço realizado por Sheldrick et al. (2003), as entradas de K na forma de resíduos de cultura vegetais prevaleceram até mesmo sobre os valores de potássio na forma de fertilizantes.

A partir de outubro o pasto recuperou seu vigor. Com isto, encerrou-se a suplementação com silagem de milho, aumentando a disponibilidade de pasto para os animais. Contribuindo assim para o aumento das entradas de K, que registrou altos valores até de janeiro de 2016. Essa situação coincidiu com a etapa final do ciclo de lactação com consequente redução da produção de leite. Para alguns meses (dezembro a março) foi possível observar que quantidades maiores de entrada do elemento se deram em momentos em que havia baixa produção de leite. Isso reflete na capacidade absoluta de recuperação do elemento no produto, acarretando no aumento da disponibilidade do nutriente para ambiente. Manter a

persistência de lactação com bons níveis produtivos contribuirá para reduzir as perdas desse e de outros nutrientes.

Desta forma, conclui-se que manipulações efetuadas nas dietas dos animais têm influência direta no balanço de nutriente do sistema de produção. Por essa razão, deve-se promover a nutrição de precisão e as decisões devem ser tomadas com base no que existe de mais avançado nas ciências do alimento e da produção animal.

5 CONCLUSÕES

A pegada hídrica de um produto de origem animal ou vegetal envolve sistemas biológicos que a cada momento se encontram em diferentes fases do desenvolvimento, possuem determinada exigência de nutrientes e estão sob influência de diversos fatores climáticos e de manejo. Por isso, há a necessidade de todos esses aspectos serem avaliados em conjunto, bem como suas inter-relações para que sejam alcançados resultados de relevante abrangência científica e significativo impacto social.

Os resultados alcançados poderão fomentar ações que visem uma produção de leite hidricamente mais eficiente. Também preenchem uma lacuna na ciência nacional, que até o momento, não dispunha de muitas informações sobre o consumo de água do alimento leite produzido por sistemas a pasto. Considerando os novos valores que a sociedade atribui aos alimentos e requerem dos sistemas de produção animal, os resultados podem subsidiar estudos econômicos relacionados ao pagamento prestados pelos serviços ecossistêmicos. As práticas e tecnologias avaliadas no estudo, com a redução do uso de água e do potencial poluidor do sistema de produção, podem ser revertidas em aumento de renda para o produtor de leite que as internalizarem.

REFERÊNCIAS

- ABEBE, Z.; DERESSA, H. The effect of organic and inorganic fertilizers on the yield of two contrasting soybean varieties and residual nutrient effects on a subsequent finger millet crop. **Agronomy**, v.7, n.2, p.42, 12 jun. 2017.
- ADEYEMI, O.; GROVE, I.; PEETS, S.; NORTON, T. Advanced monitoring and management systems for improving sustainability in precision irrigation. **Sustainability**, v.9, n.3, p.353, 28 fev. 2017.
- AGUIAR, R.N.S. **Avaliação de parâmetros minerais e determinação das normas dris do capim tanzânia**. 2004. 148 p. Dissertação (mestrado em Agronomia) - Escola Superior de Agricultura e Luiz de Queiroz, Universidade de São Paulo, Piracicaba, 2004.
- AL-KARADSHEH, E. Precision Irrigation: New strategy irrigation water management. In: DEUTSCHER TROPENTAG INTERNATIONAL RESEARCH ON FOOD SECURITY, NATURAL RESOURCE MANAGEMENT AND RURAL DEVELOPMENT, 2002, Wiltzenhausen, Germany. **Resumos...** Kassel: Kassel Univ. Press, 2002. p.113.
- AMOS, C. C.; RAHMAN, A.; GATHENYA, J. M. Economic analysis and feasibility of rainwater harvesting systems in urban and peri-urban environments: A Review of the Global Situation with a Special Focus on Australia and Kenya. **Water**, v.8, n. 4, p.149, 14 abr. 2016.
- APPUHAMY, J.A.D.R.N.; JUDY, J.V.; KEBREAB, E.; KONONOFF, P.J. Prediction of drinking water intake by dairy cows. **Journal of Dairy Science**, v.99, n.9, p.7191-7205, set. 2016.
- ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS - ABNT. **NBR 15527**: água da chuva: aproveitamento de coberturas em áreas urbanas para fins não potáveis: requisitos. Rio de Janeiro, 2007. 8 p.
- BAI, X.; REN, X.; KHANNA, N.Z. et al. Comprehensive water footprint assessment of the dairy industry chain based on ISO 14046: A case study in China. 2017. **Resources, Conservation and Recycling**, 2017. In press.
- BARIONI JUNIOR, W.; NOVELLI, T.I.; MORELLI, M.; PALHARES, J.C.P. Automação do consumo de água de vacas em lactação visando o uso eficiente do recurso natural. In: CONGRESSO DE ZOOTECNIA DE PRECISÃO, 2., 2017, Florianópolis, SC. **Anais...** São Paulo-SP: Instituto Oswaldo Gessulli, 2017.
- BAYART, J.B. **Quantification des impacts reliés à l' utilisation de la ressource eau en analyse de cycle de vie: définition d'un cadre d'étude et développement de facteurs de caractérisation**. 2008. (Maîtrise és Sciences Appliquées). Ecole Polytechnique de Montréal, Montréal, 2008.
- BEKELE, L. D.; ZHANG, W.; LIU, Y.; DUNS, G. J.; YU, C.; JIN, L.; LI, X.; CHEN, J. Impact of cotton stalk biomass weathering on the mechanical and thermal properties of cotton stalk flour/linear low density polyethylene (lhdpe) composites. **Journal of Biobased Materials and Bioenergy**, v. 11, n.1, p.27-33(7), 2017.
- BERCHIELLI, T. T.; PIRES, A. V.; OLIVEIRA, S. G. **Nutrição de Ruminantes**. Jaboticabal: Funep, 2006. 583 p.
- BERTO, J.L.; BERTO, J.L. O balanço anual de nitrogênio (N) em sistemas de criação leiteiros no oeste de Santa Catarina. **Revista Brasileira de Agroecologia**, v.2, n.1, 2007.

BOSIRE, C.K.; OGUTU, J. O.; SAID, M.Y.; KROL, M.S.; LEEUW, J de, HOEKSTRA, A.Y. Trends and spatial variation in water and land footprints of meat and milk production systems in Kenya. **Agriculture, Ecosystems & Environment**, v. 205, p.36-47, jul. 2015.

BOULAY A. M.; BOUCHARD C.; BULLE, C.; DESCHÊNES L.; MARGNI, M. Categorizing water for LCA inventory. **International Journal Life Cycle Assess**, v.16, n.7, p. 639–651. 2011.

BRADFORD, S. A.; SEGAL, E.; ZHENG, W.; WANG, Q.; HUTCHINS, SR. Reuse of Concentrated Animal Feeding Operation Wastewater on Agricultural Lands. **Journal of Environment Quality**, v. 37, n. 5, p.97-115, 2008.

BRASIL. Câmara dos Deputados. Projeto de Lei 7818 de 16 de julho de 2014. Ementa estabelece a política nacional de captação, armazenamento e aproveitamento de águas pluviais e define normas gerais para sua promoção. **Lex**: jurisprudência da Câmara dos Deputados, Brasília, DF, jul. 2014.

BRASIL. Conselho Nacional do Meio Ambiente (CONAMA). Resolução nº 357 de 17 de março de 2005. **Diário Oficial da União**, Brasília, DF, 18 de março de 2005. Seção 1, p.58.

BRASIL. Decreto nº 24643, de 10 de julho de 1934. Decreta o Código de Águas. **Diário Oficial da União**, Brasília, 20 de julho 1934. Seção 1, p.14738.

BRASIL. Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento. Instrução Normativa nº 62 de 29 de dezembro de 2011. **Diário Oficial da União**, Brasília, DF, 30 de dezembro de 2011. Seção 1, p.6.

BRASIL. Ministério da Agricultura. **Indicador rural**: Valor bruto da produção agropecuária bate recorde em 2015. Brasília, 2015. Disponível em: < <http://www.agricultura.gov.br/comunicacao/noticias/2016/01/valor-bruto-da-producao-agropecuaria-bate-recorde-em-2015>>. Acesso em: 1 abr. 2016.

BRASIL. Portaria nº 2914, de 12 de dezembro de 2011. Dispõe sobre os procedimentos de controle e de vigilância da qualidade da água para consumo humano e seu padrão de potabilidade. **Diário Oficial [da] República Federativa do Brasil**. Ministério da Saúde, Brasília, DF, 14 dez. 2011, Seção 1, p. 39.

BRITO, L.T. de L.; PORTO, E.R.; SILVA, D.F. da; HOLANDA JUNIOR, E.V.de; CAVALCANTI, N.B. Água da chuva para consumo animal: estudo de caso com caprinos. In: SIMPÓSIO BRASILEIRO DE CAPTAÇÃO E MANEJO DE ÁGUA DE CHUVA, 5., 2005, Teresina, PI. **Anais...** Teresina: ABCMAC; Governo do Estado do Piauí; Embrapa Semi- Árido; IRPAA; ASA, 2005.

BRODERICK, G.A. Effects of varying dietary protein and energy levels on the production of lactating dairy cows. **Journal of Dairy Science**, v. 86, n. 4, p.1370-1381, abr. 2003.

BRODERICK, G.A.; STEVENSON, M.J.; PATTON, R.A. Effect of dietary protein concentration and degradability on response to rumen-protected methionine in lactating dairy cows. **Journal of Dairy Science**, v. 92, n. 6, p.2719-2728, jun. 2009.

BRUGGER, M. Water use on Ohio dairy farms. **Fact Sheet**, The Ohio State University, p.1-3, 2007. Disponível em: <http://www.puroxi.com/wp-content/uploads/2011/04/Water_Use_Dairy-copy.pdf>. Acesso em: 05 out. 2017.

BUCKLEY, C.; WALL, D.P.; MORAN, B.; O'NEIL, S. MURPHY, P.N.C. Phosphorus management on Irish dairy farms post controls introduced under the EU Nitrates Directive. **Agricultural Systems**, v.142, p.1-8, fev. 2016.

BUCKLEY, C.; MURPHY, P.; WALL, D. **Farm-gate N and P balances and use efficiencies across specialist dairy farms in the Republic Ireland**. Oak Park, Carlow, Ireland : Teagasc, 2013. 32p. (REDP Working Paper Series, 13-WP-RE-02).

BULSINK, F.; HOEKSTRA, A.Y.; BOOIJ, M.J. **The water footprint of Indonesian provinces related to the consumption of crop products**. Netherlands: UNESCO-IHE, 2009, 49p. (Value of water research report series, 37).

CAIXETA, W. R. Caracterização socioeconômica da pecuária leiteira no município de Orizônia/GO: um estudo dos produtores filiados ao sindicato rural de Orizônia/GO, 48., 2010. Campos Grande. **Anais...** Mato Grosso do Sul: Sociedade Brasileira de Economia, Administração e Sociologia Rural, 2010. p.20.

CARPENTER, S. R. Phosphorus control is critical to mitigating eutrophication. **Proceedings of The National Academy of Sciences**, v.105, n.32, p.11039-11040, 6 ago. 2008.

CARTER, S. D.; KIM, H. Technologies to reduce environmental impact of animal wastes associated with feeding for maximum productivity. **Animal Frontiers**, v.3, n.3, p.42-47, 25 jun. 2013.

CELA, S.; KETTERINGS, Q. M.; CZYMMEK, K.; SOBERON, M.; RASMUSSEN, C. Characterization of nitrogen, phosphorus, and potassium mass balances of dairy farms in New York State. **Journal of Dairy Science**, v. 97, n. 12, p.7614-7632, dez. 2014.

COLMENERO, J.J.O.; BRDERICK, G.A. Effect of dietary crude protein concentration on milk production and nitrogen utilization in lactating dairy cows. **Journal of Dairy Science**, v.89, n. 5, p.1704 - 1712. 2006.

COMPANHIA NACIONAL DE ABASTECIMENTO (Conab). **Conjuntura Mensal: Leite e Derivados**. Brasília, 2016. Disponível em: <http://www.conab.gov.br/OlalaCMS/uploads/arquivos/16_05_04_17_33_34_leite_abril_2016.pdf>. Acesso em: 28 mar. 2017.

COSTA JUNIOR, C.; GOULART, R.S.; ALBERTINI, T.Z.; FEIGL, B.J.; CERRI, C.E.P.; VASCONCELOS, J.T.; BERNOUX, M.; LANNA, D.P.D.; CERRI, C.C. Brazilian beef cattle feed lot manure management: A country survey. **Journal of Animal Science**, v.91, p. 1811-1818, 2013.

DE BOER, I.J.M.; HOVING, I.E.; VELLINGA, T.V.; VEN, G.W.J.V.de.; LEFFELAAR, P.A.; GERBER, P.J. Assessing environmental impacts associated with freshwater consumption along the life cycle of animal products: the case of Dutch milk production in Noord-Brabant. **International Journal of Life Cycle Assessment**, v.18, p.193 - 203, 2013.

DERLET, R. W.; GOLDMAN, C. R.; CONNOR, M. J. Reducing the impact of summer cattle grazing on water quality in the Sierra Nevada Mountains of California: a proposal. **Journal of Water and Health**, v. 08, n. 2, p.326-333, jun. 2010.

DONHAM, K. J.; WING, S.; OSTERBERG, D.; FLORA, J.L.; HODNE, C.; THU, K.M.; THORNE, P.S. Community Health and Socioeconomic Issues Surrounding Concentrated Animal Feeding Operations. **Environ Health Perspect**, v. 115, n. 2, p.317-320, fev. 2007.

DOORENBOS, J.; KASSAM, A. H. **Efeito da água no rendimento das culturas**. Campina Grande: UFPB, 1994. 306p. (FAO. Estudos FAO. Irrigação e Drenagem, 33).

DRASTIG, K.; PALHARES, J.C.P.; KARBACH, K.; PROCHNOW, A. Farm water productivity in broiler production: case studies in Brazil. **Journal of Cleaner Production**, v. 135, p.9-19, nov. 2016.

DRASTIG, K.; PROCHNOW, A.; KRAATZ, S. Water footprint analysis for the assessment of milk production in Brandenburg (Germany). **Advances in Geosciences**, v. 27, p.65-70, 7 set. 2010.

EASTRIDGE, M. L. Major Advances in applied dairy cattle nutrition. **Journal of Dairy Science**, v.89, n.4, p.1311-1323, 2006.

EDOUARD, N.; HASSOUNA, M.; FAVERDIN, P. Low degradable protein supply to increase nitrogen efficiency in lactating dairy cows and reduce environmental impacts at barn level. **Animal**, v.10, n.02, p.212-220, 28 set. 2015.

EMBRAPA PECUÁRIA SUDESTE. **Identificação das áreas do curral gado de leite**: São Carlos: EMBRAPA PECUÁRIA SUDESTE, 2014. 1 mapa. Escalas variam.

EMBRAPA PECUÁRIA SUDESTE. **Sistema de coordenadas geográfica Datum WGS84**. São Carlos: EMBRAPA PECUÁRIA SUDESTE, 2010 jun. 1 imagem de satélite. 9,26 MB Escalas 0: 400m.

ERCIN, A. E.; ALDAYA, M. M.; HOEKSTRA, A. Y. The water footprint of soy milk and soy burger and equivalent animal products. **Ecological Indicators**, v. 18, p.392-402, jul. 2012.

EUROPEAN MILK MARKET OBSERVATORY. **Production of Dairy products in the U.S.A.** Disponível em: < http://ec.europa.eu/agriculture/milk-market-observatory/pdf/world-production-main-dairy-products_en.pdf>. Acesso em: 4 abr. 2016.

FACELLI, A. L. Cultivo racional eficiente e sustentável requer maior conhecimento sobre planta do milho, **Visão Agrícola**, n. 13, p. 20-23, 2015.

FOOD AND AGRICULTURE ORGANIZATION (FAO). **Livestock's Long Shadow**: environmental issues and options. Roma, FAO, 390p. 2006.

FOOD AND AGRICULTURE ORGANIZATION OF THE UNITED NATIONS (FAO). **Milk and dairy products in human nutrition**. Roma, 2013a. 376p.

FOOD AND AGRICULTURE ORGANIZATION OF THE UNITED NATIONS (FAO). **Technical conversion factor for agriculture commodities**. Roma, 2013b. 782p.

FOOD AND AGRICULTURE ORGANIZATION OF THE UNITED NATIONS (FAO). **The Global Dairy Sector**: Facts, 2016a. Disponível em: < <http://www.fil-idf.org/wp-content/uploads/2016/12/FAO-Global-Facts-1.pdf>>. Acesso em 17 abr. 2017.

FOOD AND AGRICULTURE ORGANIZATION OF THE UNITED NATIONS (FAO). **Smallholder dairy methodology**. [S.l.]: FAO e ILRI, 2016b. 47p. ISBN 978-92-5-109457-0.

FRANKE, N.A.; BOYACIOGLU, H.; HOEKSTRA, A.Y. **Grey water footprint accounting**: Tier 1 supporting guidelines. Netherlands: UNESCO- IHE, 2013. 59 p. (Value of Water Research Report Series, 65).

FUQUAY, J.W. Heat stress as it affects animal production. **Journal Animal Science**, v.32, p. 164-174, 1981.

GALLENKAMP, C. **Maya**: The Riddle and Rediscovery of a Lost Civilization, 3 th edition, Viking, New York, 1985.

GHEEWALA, S.H.; SILALERTRUKSA, T.; NILSALAB, P.; MUNGKUNG, R.; PERRET, S.R.; CHAIYAWANNAKARN, N. Water Footprint and Impact of Water Consumption for Food, Feed, Fuel Crops Production in Thailand. **Water**, v.6, n.6, p.1698-1718, 16 jun. 2014.

GOMEZ, Y. G.; TEIXEIRA, L. G. Residential rainwater harvesting: effects of incentive policies and water consumption over economic feasibility. **Resources, Conservation and Recycling**, v. 127, p.56-67, dez. 2017.

GOURLEY, C. J.P.; AARONS, S.R.; HANNAH, M.C.; AWTY, I.M.; DOUGHERTY, W.J.; BURKITT, L.L. Soil phosphorus, potassium and sulphur excesses, regularities and heterogeneity in grazing-based dairy farms. **Agriculture, Ecosystems & Environment**, v. 201, p.70-82, mar. 2015.

GUIMARÃES J. R., R.; GONÇALVES, L.C.; PEREIRA, L.G.R. Balanço de nitrogênio em ovinos alimentados com silagens de três genótipos de milheto [*Pennisetum glaucum* (L.) R. Br.]. In: REUNIÃO ANUAL DA SOCIEDADE BRASILEIRA DE ZOOTECNIA, 44., 2007, Jaboticabal. **Anais...** Jaboticabal: Sociedade Brasileira de Zootecnia, 2007.

HAJANI, E.; RAHMAN, A. Reliability and Cost Analysis of a Rainwater Harvesting System in Peri-Urban Regions of Greater Sydney, Australia. **Water**, v.6, n.4, p.945-960, 14 abr. 2014.

HOANG, V.N.; NGUYEN, T. T. Analysis of environmental efficiency variations: A nutrient balance approach. **Ecological Economics**, v.86, p.37-46, fev. 2013.

HOEKSTRA, A. Y.; MEKONNEN, M.M.; CHAPAGAIN, A.K.; MATHEWS, R.E.; RICHTER, B.D. Global Monthly Water Scarcity: Blue Water Footprints versus Blue Water Availability. **Plos One**, v.7, n.2, p.1-9, 29 fev. 2012a.

HOEKSTRA, A. Y. The hidden water resource use behind meat and dairy. **Animal Frontiers**, v.2, n.2, p.3-8, 20 mar. 2012b.

HOEKSTRA, A. Y. Virtual water trade. In: INTERNATIONAL EXPERT MEETING ON VIRTUAL WATER TRADE, 12-13 dec., 2002, Delft, Netherlands. **Proceedings...** Delft, Netherlands: UNESCO-IHE, 2003. (Value of Water Research Report Series, 12).

HOEKSTRA, A.Y.; CHAPAGAIN, A.K.; ALDAYA, M.M.; MEKONNEN, M.M. **The water footprint assessment manual**: setting the global standard. London, UK: Earthscan, 2011. 80p.

HOLTER, J.B.; URBAN JUNIOR, W.E. Water partitioning and intake prediction in dry and lactating Holstein cows. **Journal of Science**, v.75, n.6, p. 1472-1479, 1992.

HOODA, P.S.; EDWARDS, A.C.; ANDERSON, H.A; MILLER, A. A review of water quality concerns in livestock farming areas. **Science of The Total Environment**, v. 250, n. 1-3, p.143-167, abr. 2000.

HUANG, J.; XU, C.C.; RIDOUTT, B.G.; LIU, J.J.; ZHANG, H.L.; CHEN, F.; LI, Y. Water availability footprint of milk and milk products from large-scale dairy production systems in Northeast China. **Journal of Cleaner Production**, v. 79, p.91-97, set. 2014.

HUHTANEN, P.; NOUSIAINEN, J.; TURTOLA, E. Dairy farm nutrient management model: 2. Evaluation of different strategies to mitigate phosphorus surplus. **Agricultural Systems**, v.104, n.5, p.383-391, jun. 2011.

INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA (IBGE). **Indicadores IBGE:** Estatística da produção pecuária. Brasil, 2016.

INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA (IBGE). **Pesquisa de orçamento familiares 2002-2003:** Análise da disponibilidade de alimentos e do estado nutricional no Brasil. Rio de Janeiro, 2004.

INTERNATIONAL DAIRY FEDERATION (IDF). Global Dairy Expertise. **IDF Newsbrief**, n. 111, p. 1- 14, 2016. Disponível em: <<http://www.fil-idf.org/wp-content/uploads/2016/12/IDF-Newbrief-111-final-version-to-upload.pdf>>. Acesso em: 23 abr. 2017.

ITABORAHY, C.R.; LIMA, C.V.F.; NASCIMENTO, V.M.C.; BRAGA, M.B. Reuso de água na agricultura no contexto da gestão de recursos hídricos no Brasil. In: BRAGA, M.B.; LIMA, C.E.P. (Ed.). **Reuso de água na agricultura**. Brasília, DF: Embrapa, 2014. p.59-96.

JOHANSSON, E. L.; FADER, M.; SEAQUIST, J.W.; NICHOLAS, K.A. Green and blue water demand from large-scale land acquisitions in Africa. **Proceedings of The National Academy of Sciences**, v.113, n.41, p.11471-11476, 26 set. 2016.

JUNGBLUTH, T., HARTUNG, E.; BROSE, G. Greenhouse gas emissions from animal houses and manure stores. **Nutrient Cycling in Agroecosystems**, v 60, n.1-3, p 133-145, 2001.

KADZERE, C.T.; MURPHY, M.R.; SILANIKOVE, N.; MALTZ, E. Heat stress in lactating dairy cows: a review. **Livestock Production Science**, v. 77, n.1, p.59-91, out. 2002.

KHELIL-ARFA, H.; BOUDON, A.; MAXIN, G.; FAVERDIN, P. Prediction of water intake and excretion flows in Holstein dairy cows under thermoneutral conditions. **Animal**, v.6, n.10, p.1662-1676, 7 mar. 2012.

KLEINMAN, P. J. A.; SHARPLEY, A.N.; WITHERS, P.J.A.; BERGSTROM, L.; JOHNSON, L.T.; DOODY, D.G. Implementing agricultural phosphorus science and management to combat eutrophication. **Ambio**, v.44, n.2, p.297-310, 15 fev. 2015.

KUME, S.; NONAKA, K.; OSHITA, T.; KOZAKAI, T. Evaluation of drinking water intake, feed water intake and total water intake in dry and lactating cows fed silages. **Livestock Science**, v.128, n.1-3, p.46-51, mar. 2010.

LANDON, C. R. **American Indian Contributions to Science and technology**. [S.l.] : Portland Public Schools, 1993. p.139. (Geocultural baseline essay series).

LANGHANS, W.; ROSSI, R.; SCHARRER, E. Relationship between feed and water intake in RUMINANTS. In: ENGLEHARDT, W.V. et al. (Ed.). **Ruminant Physiology:** Digestion, Metabolism, Growth and reproduction. Germany: [s.n], 1995. p.199-216.

LIANG, X.; VAN DIJK, M. P. Economic and financial analysis on rainwater harvesting for agricultural irrigation in the rural areas of Beijing. **Resources, Conservation and Recycling**, v.55, n.11, p.1100-1108, set. 2011.

- LIU, C.; KROEZE, C.; HOEKSTRA, A.Y.; GERBENS- LEENES, W. Past and future trends in grey water footprints of anthropogenic nitrogen and phosphorus inputs to major world rivers. **Ecological Indicators**, v.18, p.42-49, jul. 2012.
- LIUZZO, L.; NOTARO, V.; FRENI, G. A Reliability Analysis of a Rainfall Harvesting System in Southern Italy. **Water**, v.8, n. 1, p.18-20, 8, 2016.
- LOVARELLI, D.; BACENETTI, J.; FIALA, M. Water Footprint of crop productions: A review. **Science of the Total Environment**, v. 548-549, p.236-251, abr. 2016.
- MARTINS, M. C. Competitividade da cadeia produtiva do leite no Brasil. **Revista Política Agrícola**. n. 3, p.38-51, 2004.
- MARTINS, P.C.; PICCININI, G.A.; KRUG, E.E.B.; MARTINS, C.E.; LOPES, F.C.F. **Sustentabilidade ambiental, social e econômica da cadeia produtiva do leite: desafios e perspectivas**. Brasília: Embrapa, 2015. 432p.
- MEKONNEN, M. M.; HOEKSTRA, A. Y. Water footprint benchmarks for crop production: A first global assessment. **Ecological Indicators**, v. 46, p.214-223, nov. 2014.
- MEKONNEN, M. M.; HOEKSTRA, A. Y. A Global Assessment of the Water Footprint of Farm Animal Products. **Ecosystems**, v.15, n.3, p.401-415, 24 jan. 2012.
- MEKONNEN, M. M.; HOEKSTRA, A. Y. **The green, blue and grey water footprint of farm animals and animal products**. Delft, the Netherlands: UNESCO-IHE, 2010. 43p. (Value of Water Research Report Series, 48).
- MEYER, U.; EVERINGHOFF, M.; GADEKEN, D.; FLACHOWSKY, G. Investigations on the water intake of lactating dairy cows. **Livestock Production Science**, v. 90, n. 2-3, p.117-121, nov. 2004.
- MIHAILESCU, E.; MURPHY, P.N.; RYAN, W.; CASEY, I.A. Nitrogen balance and use efficiency on twenty-one intensive grass-based dairy farms in the South of Ireland. **The Journal of Agricultural Science**, v.152, n.5, p.843-859, 13 mar. 2014.
- MILÀ I CANALS, L.; CHENOWETH, J.; CHAPAGAIN, A.; ORR, S.; ANTÓN, A.; CLIFT, R. Assessing freshwater use impacts in LCA: part I- inventory modelling and characterization factors for the main impact pathways. **International Journal Life Cycle Assess**, v.14, n.1, p.28 - 42, 2009.
- MINISTÉRIO DA AGRICULTURA, PECUÁRIA E ABASTECIMENTO (MAPA). **Projeções do Agronegócio Brasil 2014/15 a 2024/25: projeções de longo prazo**. Brasília, 2015. 130p.
- MINISTÉRIO DA AGRICULTURA, PECUÁRIA E ABASTECIMENTO ASSESSORIA DE GESTÃO ESTRATÉGICA (MAPA/AGE). **Projeções do Agronegócio Brasil 2014/15 a 2024/25: Projeções de Longo Prazo**. Brasília, 2015. 133p.
- MIODUSZEWSKI, W. Water for agriculture and natural environment. **Journal Water Land Development**, n.13b, p. 3-16, 2009.
- MIZRAHI, I. Rumen Symbioses. In: ROSENBERG, E. et al. (Ed.). **The Prokaryotes: Prokaryotic Biology and Symbiotic Associations**. Berlin, Heidelberg: Springer Berlin Heidelberg, 2013. p. 533-544.

MIZRAHI, I. The Role of the Rumen Microbiota in Determining the Feed Efficiency of Dairy Cows. In: ROSENBERG, E. e GOPHNA, U. (Ed.). **Beneficial Microorganisms in Multicellular Life Forms**. Berlin, Heidelberg: Springer Berlin Heidelberg, 2011. p. 203-210.

MORALES-PINZÓN, T.; LURUEÑA, R.; GABARRELL, X. GASOL, C.M.; RIERADEVALL, J. Financial and environmental modelling of water hardness - Implications for utilising harvested rainwater in washing machines. **Science of The Total Environment**, v. 470-471, p.1257-1271, fev. 2014.

MORALES-PINZÓN, T.; RIERADEVALL, J.; GASOL, C.M.; GABARRELL, X. Modelling for economic cost and environmental analysis of rainwater harvesting systems. **Journal of Cleaner Production**, v. 87, p.613-626, jan. 2015.

MORLEY, S. **The Ancient Maya**. Stanford: The Stanford University Press, 1956, 77, p.264-265.

MUELLER, N. D.; GERBER, J.S.; JOHNSTON, M.; RAY, D.K.; RAMANKUTTY, N.; FOLEY, J.A. Closing yield gaps through nutrient and water management. **Nature**, v.490, p. 254-257, 2012.

MURPHY, E.; DE BOER, I.J.M.; VAN MIDDELAAR, C.E.; HOLDEN, N.M.; SHALLOO, L.; CURRAN, T.P.; UPTON, J. Water footprinting of dairy farming in Ireland. **Journal of Cleaner Production**, v. 140, p.547-555, jan. 2017.

MURPHY, M. R.; DAVIS, C. L.; MCCOY, G. C. Factors affecting water consumption by Holstein cows in early lactation. **Journal Dairy Science**. v. 66. p. 35-38. 1983.

NATIONAL RESEARCH COUNCIL - US (NRC). **Nutrient requirements of dairy cattle**. 7.ed. Washington, DC: National Academy Press, 2001. 381p.

NEETESON, J.J. Nitrogen and phosphorus management on Dutch dairy farms: legislation and strategies employed to meet the regulations. **Biology and Fertility of Soils**, v.30, n.5-6, p.566-572, 3 mar. 2000.

NEWNAN, D. G.; LAVELLE, J. P. **Fundamentos de engenharia econômica**. Rio de Janeiro: LTC-Livros Técnicos e Científicos, 2000. 359 p. ISBN 85-216-1233-8.

NORONHA, J.F. **Projetos agropecuários**: administração financeira, orçamento e viabilidade econômica. São Paulo: Editora Atlas S.A., 1987. 269 p.

NOVELLI, T. I.; PALHARES, J. C. P. Balanço de nutrientes de um sistema de produção de leite orgânico. In: SIMPÓSIO DE SUSTENTABILIDADE & CIÊNCIA ANIMAL, 4., 2015, Rio de Janeiro. **Anais...** Rio de Janeiro: UFF, 2015.

NÚCLEO DE ESTUDOS E PESQUISAS EM ALIMENTAÇÃO (NEPA). **Tabela Brasileira de Composição de Alimentos**. 4.ed. Campinas: NEPA-UNICAMP, 2011. 161 p.

OBITSU, T.; KAMIYA, M.; KMIYA, Y.; TANAKA, M.; SUGINO, T.; TANIGUCHI, K. Effects of high ambient temperature on urea-nitrogen recycling in lactating dairy cows. **Animal Science Journal**, v. 82, n. 4, p.531-536, 20 abr. 2011.

OENEMA, J; KOSKAMP, G.J.; GALAMA, P.J. Guiding commercial pilot farms to bridge the gap between experimental and commercial dairy farms: the project 'Cows & Opportunities'. **Journal of Agricultural Science**, Netherlands, v.49, p.277 - 296, 2001.

OENEMA, O.; JANSSEN, B.H.; SMALLING, E.; HOFFLAND, E. Nutrient management in tropical agroecosystems. **Agriculture, Ecosystems & Environment**, v. 116, n. 1-2, p.1-3, ago. 2006. Editorial.

OLIVEIRA, P. A. V. de; MATTHIENSEN, A.; ALBINO, J. J.; BASSI, L. J.; GRINGS, V. H.; BALDI, P. C. **Aproveitamento da água da chuva na produção de suínos e aves**, Concórdia: Embrapa Suínos e Aves, p.38, 2012.

OWUSU-SEKYERE, E.; SCHEEPERS, M. E.; JORDAAN, H. Economic water productivities along the dairy value chain in South Africa: implications for sustainable and economically efficient water-use policies in the dairy industry. **Ecological Economics**, v. 134, p.22-28, abr. 2017.

OWUSU-SEKYERE, E.; SCHEEPERS, M.; JORDAAN, H. Water Footprint of Milk Produced and Processed in South Africa: Implications for Policy-Makers and Stakeholders along the Dairy Value Chain. **Water**, v.8, n.8, p.322, 29 jul. 2016.

PAIVA, C. A. V.; JUNTOLLI, F.V.; CARVALHO, L.F.R.; BERNARDI, A.C. de C.; TOMICH, T.R.; PEREIRA, L.G.R. Pecuária Leiteira de Precisão. In: Vilela, D.; FERREIRA, R. de P.; FERNANDES, E.N.; JUNTOLLI, F.V. (Ed.). **Pecuária de Leite no Brasil: cenários e avanços tecnológicos**. Brasília, DF: Embrapa, 2016. p. 307-323.

PALHARES, J. C. P. **Captação de água de chuva e armazenamento em cisterna para uso na produção animal**. São Carlos, SP: Embrapa Pecuária Sudeste, 2016.

PALHARES, J. C. P. Eficiência de uso do nitrogênio e do fósforo em um sistema de produção de leite. In: SIMPÓSIO INTERNACIONAL SOBRE GERENCIAMENTO DE RESÍDUOS AGROPECUÁRIOS E AGROINDUSTRIAIS, 3., 2013, Concórdia. **Anais...** Concórdia :Sbera, 2013.

PALHARES, J. C. P. **Licenciamento ambiental na suinocultura: os casos brasileiro e mundial**. n.123. Concórdia: Embrapa Suínos e Aves, 2008. 52 p. (Documentos).

PALHARES, J. C. P.; MORELLI, M.; COSTA JUNIOR, C. Impact of roughage-concentrate ratio on the water footprints of beef feedlots. **Agricultural Systems**, v. 155, p.126-135, jul. 2017.

PALHARES, J. C. P.; PEZZOPANE, J. R. M. Water footprint accounting and scarcity indicators of conventional and organic dairy production systems. **Journal of Cleaner Production**, v.93, p.299-307, abr. 2015.

PALHARES, J.C. P.; CHARLÓN, V.; HERRERO, M.A.; SALAZAR, F. Impact of dairy effluent management in the grey water footprint. In: SIMPÓSIO INTERNACIONAL SOBRE GERENCIAMENTO DE RESÍDUOS AGROPECUÁRIOS E AGROINDUSTRIAIS, 5., 2017, Foz do Iguaçu. **Anais...** Concórdia, Sc: Sbera: Embrapa, 2017. p. 479 - 482.

PATTON, R. A.; HRISTOV, A. N.; LAPIERRE, H. Protein Feeding and Balancing for Amino Acids in Lactating Dairy Cattle. **Veterinary Clinics of North America: Food Animal Practice**, v. 30, n. 3, p.599-621, nov. 2014.

PEDREIRA, M.S.; BERCHIELLI, T.T. Minerais. In: BERCHIELLI, T.T.; PIRES, A.V.; OLIVEIRA, S.G. **Nutrição de Ruminantes**. Jaboticabal: Funep, 2006. v.1, 12 , p. 333 - 353.

PEREIRA, A. R.; ANGELOCCI, L. R.; SENTELHAS, P. C. **Agrometeorologia: fundamentos e aplicações práticas**. Guiabá: Agropecuária, 2002. 487p.

PETERS, G.; WIEDEMANN, S.; ROWLEY, H.; TUCKER, R. Accounting for water use in Australian red meat production. **International Journal Life Cycle Assess**, v.15, n.3, p.311–320, 2010.

POWELL, J.M. et al. Nitrogen use efficiency: A potential performance indicator and policy tool for dairy farms. **Environmental Science & Policy**, v.13, n.3, p.217-228, maio 2010.

PROENÇA, G. G. de; SCHMIDT, C. A. P. Aproveitamento de Água da Chuva: um Dimensionamento para o Caso de Aviários. **Revista Dae**, v. 62, n. 197, p.26-30, 2014.

RAN, Y.; LANNERSTAD, M.; HERRERO, M.; MIDDELAAR, V. DE BOER, I.J.M. Assessing water resource use in livestock production: A review of methods. **Livestock Science**, v.187, p.68-79, maio 2016.

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

RAVEN, P. H.; EVERT, R. F.; EICHHORN, S. E. **Biologia Vegetal**. 7. ed. Rio de Janeiro: Guanabara Koogan, 2007. 830 p.

REICHERT, N. J.; MUSA, C. I. Aproveitamento de água da chuva na criação de aves e suínos no município de São Vendelino - RS. **Revista Liberato**, Novo Hamburgo, v.13, n.20, p.1-10, jul. 2012.

RINGLER, C.; BRYAN, E.; BISWAS, A. K.; CLINE, S. A. Water and Food Security Under Global Change, In: **Global change: Impacts on Water and Food, Water Resources Development and Management**, edited by: Ringler, C., Biswas, A. K., and Cline, S. A., Springer Berlin Heidelberg; 1, p.265, 2010.

ROCKSTROM, J.; LANNERSTAD, M.; FALKENMARK, M. Assessing the water challenge of a new green revolution in developing countries. **Proceedings of the National Academy of Sciences**, v.104, n.15, p. 6253- 6260, 2007.

ROSEGRANT, M. W.; CAI, X.; CLINE, S. A. **World water and food to 2025: Dealing with scarcity**, IFPRI, Washington DC, 2002.

ROWE, H.; WITHERS, P.J.A.; BAAS, P.; CHAN, N.I.; DOODY, D.; HOLIMAN, J.; JACOBS, B.; LI, H.; MACDONALD, G.K.; MCDOWELL, R.; SHARPLEY, A.N.; SHEN, J.;TAHERI, W.; WALLENSTEIN, M.; WEINTRAUB, M.N. Integrating legacy soil phosphorus into sustainable nutrient management strategies for future food, bioenergy and water security. **Nutrient Cycling In Agroecosystems**, v.104, n.3, p.393-412, 10 set. 2016.

SANTOS JUNIOR. J.D.G.dos. **Fertilidade d solo no acúmulo de forragem e nutrição do capim Tanzânia sob pastagem na região dos cerrados**. 2005. 105p. Tese (Doutorado em agronomia) - Escola Superior de Agricultura e Luiz de Queiroz, Universidade de São Paulo, Piracicaba, 2005.

SANTOS, J. L. dos. **Potencial de aproveitamento da água de chuva na produção de leite: um estudo de caso**. 2015. 89 f. Dissertação (Mestrado) - Curso de Engenharia Agrícola, Universidade Estadual de Campinas, Campinas, 2015.

SÃO PAULO (ESTADO). Decreto nº 61.430, de 17 de Agosto de 2015. Aprova e fixa valores a serem cobrados pela utilização dos recursos hídricos de domínio do Estado de São Paulo na unidade de gerenciamento de recursos hídricos Piracicaba, Capivari, Jundiaí. **Diário Oficial [do] Estado de São Paulo**, Poder Executivo, São Paulo, SP, 18 ago. 2015. Seção 1, v.125, n.152.

SAS Institute Inc., System for Microsoft Windows, Release 9.4, Cary, NC, USA, 2012.

SATTLER, N.; FECTEAU, G. Hypokalemia Syndrome in Cattle. **Veterinary Clinics of North America: Food Animal Practice**, v. 30, n. 2, p.351-357, jul. 2014.

SCHEEPERS, M.; JORDAAN, H. Assessing the Blue and Green Water Footprint of Lucerne for Milk Production in South Africa. **Sustainability**, v. 8, n. 1, p.49-58, 8 jan. 2016.

SCHVARTZMAN, A. S.; PALMIER, L. R. Sugestões para o aprimoramento dos sistemas de captação de água de chuva por meio de cisternas na região semi-árida de minas gerais. In: SIMPÓSIO BRASILEIRO DE CAPTAÇÃO E MANEJO DE ÁGUA DE CHUVA, 6, 2007. Belo Horizonte, MG. **Anais...** Belo Horizonte, 2007.

SHELDRIK, W.; SYERS, J.K.; LINGARD, J. Contribution of livestock excreta to nutrient balances. **Nutrient Cycling in Agroecosystems**, v.66, p.119 – 131, 2003.

SHEPHERD, M.; SHORTEN, P.; COSTALL, D.; MACDONLD, K.A. Evaluation of urine excretion from dairy cows under two farm systems using urine sensors. **Agriculture, Ecosystems & Environment**, v. 236, p.285-294, jan. 2017.

SILVA, C. M.; SOUSA, V.; CARVALHO, N. V. Evaluation of rainwater harvesting in Portugal: Application to single-family residences. **Resources, Conservation And Recycling**, v. 94, p.21-34, jan. 2015.

SILVEIRA, C.P; MONTEIRO, F.A. Macronutrientes em folhas diagnósticas do capim - tanzânia adubado com nitrogênio e cálcio. **Revista brasileira de zootecnia**, v. 39, n.4, p.736-745, 2010.

SINCLAIR, K. D.; GARNSWORTHY, P.C.; MANN, G.E; SINCLAIR, L.A. Reducing dietary protein in dairy cow diets: implications for nitrogen utilization, milk production, welfare and fertility. **Animal**, v.8, n.02, p.262-274, 2013.

SLIMEN, I. B.; NAJAR, T.; GHRAM, A.; ABDERRABBA, M. Heat stress effects on livestock: molecular, cellular and metabolic aspects, a review. **Journal of Animal Physiology and Animal Nutrition**, v.100, n.3, p.401-412, 6 ago. 2015.

SMITH, M. C; SHERMAN, D. M. Nutrition and Metabolic Diseases. **Goat Medicine**, p.733-785, 10 nov. 2009.

SOBERON, M. A.; KETTERINGS, Q.M.; RASMUSSEN, C.N.; CZYMMEK, K.J. Whole Farm Nutrient Balance Calculator for New York Dairy Farms. **Natural Sciences Education**, v.42, n.1, p.57-67, may. 2013.

SOUZA, E. L.; GHISI, E. Potable Water Savings by Using Rainwater for Non-Potable Uses in Houses. **Water**, v.4, n. 4, p.607-628, 29 ago. 2012.

SULTANA, M.N.; UDDIN, M.M.; RIDOUTT, B.G.; PETERS, K.J. Comparison of water use in global milk production for different typical farms. **Agricultural Systems**, v. 129, p.9-21, jul.2014.

TESSARI, P.; LANTE, A.; MOSCA, G. Essential amino acids: master regulators of nutrition and environmental footprint? **Scientific Reports**, v.6, n.1, p.1-13, 25 maio 2016.

UNITED NATIONS DEVELOPMENT PROGRAMME (UNDP). **Human Development Report 2006 - Beyond Scarcity**: power, poverty and the global water crisis. United Nations Development Programme, New York, p.422, 2006.

VALADARES FILHO, S.C.; MACHADO, P.A.S; CHIZZOTTI, M.L.; AMARAL, H.F.; MAGALHÃES, K.A.; ROCHA JUNIOR, V.R; CAPELLE, E.R. CQBAL 3.0. **Tabelas brasileiras de composição de alimentos para bovinos**. Disponível em: <<http://www.ufv.br/cqbal>>. Acesso em: 30 nov. 2016.

VANHAM, D.; MEKONNEN, M.M.; HOEKSTRA, A.Y. The water footprint of the EU for different diets. **Ecological Indicators**, v.32, p.1-8, set. 2013.

VIEIRA, Z.C.; RIBEIRO, S.N.; ALVES, M.F.A. Cálculo de área de captação e volume de cisterna para dessedentação de animais em diferentes regiões paraibanas. In: WORKSHOP INTERNACIONAL SOBRE ÁGUA NO SEMIÁRIDO BRASILEIRO, 2., 2015, Campina Grande, PB. **Anais...** [S.l.]: Editora Realize, 2015.

VILELA, D. A importância econômica, social e nutricional do leite. **Revista Batavo**, Castro, PR, n.111, jan. 2002. Disponível em: <<http://www.nupel.uem.br>>. Acesso em: 3 abr. 2014.

VINCE, F. **Life cycle initiative working group**: assessment of water use and consumption with in LCA. Veolia Environment. Paris, 2007.

VISIOLI, F.; STRATA, A. Milk, Dairy Products, and Their Functional Effects in Humans: A Narrative Review of Recent Evidence. **Advances In Nutrition: An International Review Journal**, v.5, n. 2, p.131-143, 1 mar. 2014.

WANG, J.P.; BU, D.P.; WANG, J.Q.; HUO, X.K.; GUO, T.J.; WEI, H.Y.; ZHOU, L.Y; RASTANI, R.R.; BAUMGARD, L.H.; LI, F.D. Effect of saturated fatty acid supplementation on production and metabolism indices in heat-stressed mid-lactation dairy cows. **Journal of Dairy Science**, v.93, n.9, p.4121-4127, set. 2010.

WEI, J.; WEI, Y.; WESTERN, A. Evolution of the societal value of water resources for economic development versus environmental sustainability in Australia from 1843 to 2011. **Global Environmental Change**, v. 42, p.82-92, jan. 2017.

WEST, J.W. Effects of heat-stress on production in dairy cattle. **Journal of Dairy Science**, v.86, n.6, p.2131-2144, jun. 2003b.

WEST, J.W.; MULLINIX, B.G.; BERNARD, J.K. Effects of hot, humid weather on milk temperature, dry matter intake, and milk yield of lactating dairy cows. **Journal of Dairy Science**, v. 86, n. 1, p.232-242, jan. 2003a.

WHITE, R. R. Increasing energy and protein use efficiency improves opportunities to decrease land use, water use, and greenhouse gas emissions from dairy production. **Agricultural Systems**, v.146, p.20-29, jul. 2016.

WORLD HEALTH ORGANIZATION (WHO). **Guidelines for drinking**: water quality. Genebra, 2011. 541p.

ZOCCAL, R. **Alguns números do leite**. 2016. Elaborada pela pesquisadora da Embrapa Gado de Leite. Disponível em: <<http://www.baldebranco.com.br/alguns-numeros-do-leite/>>. Acesso em: 04 abr. 2017.

APÊNDICES

APÊNDICE A – Tabela do coeficiente de cultura (Kc) diário do capim Tanzânia

Coeficiente de cultura do capim Tanzânia												
Dias	2015										2016	
	Abr.	Maio	Jun	Jul	Agos	Set	Out	Nov	Dez	Jan	Fev	Mar
1	0,38	0,37	0,37	0,36	0,39	0,45	0,60	0,95	1,00	0,35	0,36	0,35
2	0,39	0,37	0,37	0,37	0,40	0,46	0,64	0,99	1,05	0,36	0,35	0,35
3	0,39	0,38	0,37	0,37	0,40	0,47	0,67	1,03	0,35	0,35	0,36	0,35
4	0,40	0,38	0,37	0,37	0,41	0,49	0,69	1,07	0,35	0,35	0,36	0,35
5	0,41	0,39	0,38	0,37	0,42	0,51	0,72	0,35	0,36	0,36	0,35	0,35
6	0,41	0,39	0,38	0,37	0,42	0,52	0,76	0,35	0,36	0,35	0,35	0,35
7	0,42	0,39	0,39	0,38	0,43	0,53	0,81	0,36	0,37	0,35	0,36	0,35
8	0,43	0,40	0,39	0,38	0,44	0,54	0,35	0,36	0,37	0,36	0,35	0,36
9	0,44	0,40	0,40	0,38	0,45	0,55	0,35	0,36	0,38	0,35	0,35	0,35
10	0,45	0,41	0,40	0,38	0,46	0,35	0,36	0,37	0,39	0,35	0,36	0,35
11	0,46	0,41	0,41	0,39	0,47	0,35	0,36	0,38	0,41	0,35	0,35	0,36
12	0,47	0,42	0,41	0,39	0,48	0,35	0,37	0,40	0,42	0,35	0,35	0,35
13	0,48	0,42	0,42	0,40	0,35	0,35	0,37	0,41	0,44	0,35	0,36	0,35
14	0,50	0,42	0,43	0,40	0,35	0,35	0,39	0,43	0,46	0,35	0,35	0,36
15	0,51	0,43	0,43	0,41	0,35	0,36	0,40	0,45	0,48	0,35	0,36	0,35
16	0,52	0,43	0,44	0,35	0,35	0,36	0,42	0,47	0,50	0,35	0,36	0,35
17	0,54	0,44	0,44	0,35	0,36	0,37	0,44	0,49	0,53	0,35	0,35	0,35
18	0,56	0,44	0,35	0,35	0,36	0,37	0,46	0,52	0,57	0,35	0,35	0,35
19	0,58	0,45	0,35	0,35	0,36	0,38	0,48	0,55	0,60	0,35	0,36	0,35
20	0,60	0,45	0,35	0,36	0,36	0,39	0,52	0,57	0,64	0,35	0,35	0,36
21	0,62	0,35	0,35	0,36	0,37	0,40	0,55	0,60	0,68	0,35	0,35	0,35
22	0,64	0,35	0,35	0,36	0,37	0,42	0,58	0,64	0,72	0,35	0,36	0,35
23	0,35	0,35	0,35	0,36	0,38	0,44	0,61	0,67	0,77	0,36	0,35	0,36
24	0,35	0,35	0,36	0,36	0,38	0,46	0,64	0,69	0,82	0,35	0,35	0,35
25	0,35	0,36	0,36	0,36	0,39	0,48	0,68	0,71	0,87	0,35	0,36	0,35
26	0,36	0,36	0,36	0,37	0,39	0,49	0,71	0,75	0,92	0,36	0,35	0,35
27	0,36	0,36	0,36	0,37	0,39	0,52	0,75	0,80	0,96	0,35	0,35	0,35
28	0,36	0,36	0,36	0,37	0,40	0,53	0,78	0,86	1,00	0,35	0,36	0,35
29	0,36	0,36	0,36	0,38	0,41	0,55	0,83	0,90	1,02	0,36	0,35	0,36
30	0,37	0,36	0,36	0,38	0,42	0,57	0,87	0,95	1,06	0,35		0,35
31		0,36		0,39	0,43		0,91		0,35	0,35		0,35

Fonte: Dados da pesquisa do autor.

APÊNDICE B – Gráfico da curva produção de leite do Grupo 1 (abril de 2015 a março de 2016)

APÊNDICE C – Gráfico da curva produção de leite do Grupo 2 (abril de 2015 a março de 2016)

APÊNDICE D – Tabela do balanço mensal de nitrogênio (N) nos Grupos

(Continua)

	Ano											
	2015										2016	
	Abr.	Maio	Jun.	Jul.	Ago.	Set.	Out.	Nov.	Dez.	Jan.	Fev.	Mar.
Grupo 1												
Entradas (kg de N mês ⁻¹)												
Concentrado	33,7	81,1	78,5	80,7	74,3	71,9	74,3	71,9	74,3	63,7	29,8	31,8
Silagem	6,1	17,6	20,5	15,5	18,2	17,1	7,7					
Pastagem	17,3	2,6	2,5	38,8	38,8	37,5	29,1	55,4	57,3	49,1	23,0	24,5
Total	57,1	101,4	101,5	135,0	131,2	126,5	111,0	127,3	131,5	112,7	52,7	56,4
Saída (kg de N mês ⁻¹)												
Leite	14,8	34,2	34,3	33,3	29,7	28,7	26,5	28,4	20,9	16,9	6,9	7,0
Balanço (kg de N mês ⁻¹)	42,3	67,2	67,2	101,7	101,5	97,8	84,5	98,9	110,6	95,8	45,8	49,4
Eficiência de Uso (% N)	26,0	33,7	33,8	24,6	22,7	22,7	23,9	22,3	15,9	15,0	13,1	12,4
Grupo 2												
Entradas (kg de N mês ⁻¹)												
Concentrado	36,9	93,2	90,4	91,0	55,4	53,6	55,4	52,2	53,9	53,9	36,0	7,7
Silagem	8,1	17,6	20,5	15,5	18,2	17,1	7,7					
Pastagem	23,1	2,6	2,5	38,8	38,8	37,5	29,1	55,4	57,3	57,3	38,3	8,2
Total	68,1	113,4	113,4	145,3	112,4	108,3	92,2	107,6	111,2	111,2	74,3	15,9

(Conclusão)

	Ano											
	2015									2016		
	Abr.	Maio	Jun.	Jul.	Ago.	Set.	Out.	Nov.	Dez.	Jan.	Fev.	Mar.
Saída (kg de N mês ⁻¹)												
Leite	19,4	29,1	32,9	33,6	30,1	32,2	30,6	28,9	25,3	23,2	15,2	3,4
Balanço (kg de N mês ⁻¹)	48,7	84,3	80,5	111,7	82,3	76,1	61,6	78,7	85,8	88,0	59,1	12,5
Eficiência de Uso (% N)	28,4	25,7	29,0	23,1	26,8	29,7	33,1	26,9	22,8	20,9	20,4	21,3

Fonte: Dados da pesquisa do autor.

APÊNDICE E – Tabela do balanço mensal de fósforo (P) nos Grupos

(Continua)

	Ano											
	2015									2016		
	Abr.	Maio	Jun.	Jul.	Ago.	Set.	Out.	Nov.	Dez.	Jan.	Fev.	Mar.
Grupo 1												
Entradas (kg de P mês ⁻¹)												
Concentrado	7,4	17,9	17,3	17,8	16,3	15,8	16,7	16,1	16,7	14,3	6,7	7,1
Silagem	1,1	3,2	3,7	2,6	3,0	3,5	1,6					
Pastagem	2,4	0,4	0,2	3,4	3,4	3,3	4,0	7,7	8,0	6,8	3,2	3,4
Total	11,0	21,4	21,2	23,7	22,7	22,6	22,3	23,9	24,6	21,1	9,9	10,6

(Conclusão)

	Ano											
	2015									2016		
	Abr.	Maio	Jun.	Jul.	Ago.	Set.	Out.	Nov.	Dez.	Jan.	Fev.	Mar.
Saída (kg de P mês ⁻¹)												
Leite	2,3	7,5	5,3	8,3	6,9	5,0	5,6	19,0	35,6	29,6	6,8	7,9
Balanço (kg de P mês ⁻¹)	8,6	13,9	15,9	15,5	15,9	17,6	16,7	4,9	-10,9	-8,5	3,1	2,6
Eficiência de Uso (% P)	21,4	35,0	25,1	34,9	30,3	22,2	25,2	79,2	144,4	140,3	68,5	75,1
Grupo 2												
Entradas (kg de P mês ⁻¹)												
Concentrado	9,9	17,1	16,5	16,8	13,7	13,2	13,7	15,1	15,6	15,6	10,4	2,2
Silagem	1,5	3,2	3,7	2,6	3,0	3,5	1,6					
Pastagem	3,3	0,4	0,2	3,4	3,4	3,3	4,0	7,7	8,0	8,0	5,3	1,1
Total	14,6	20,7	20,4	22,8	20,1	20,0	19,3	22,8	23,5	23,5	15,7	3,4
Saída (kg de P mês ⁻¹)												
Leite	2,9	5,6	4,9	7,8	7,0	5,4	5,6	19,9	43,7	43,2	19,1	3,9
Balanço (kg de P mês ⁻¹)	11,7	15,1	15,5	15,0	13,1	14,6	13,6	2,9	-20,1	-19,7	-3,4	-0,6
Eficiência de Uso (% P)	19,8	26,9	24,1	34,1	34,6	27,1	29,2	87,4	185,5	183,6	121,4	117,4

Fonte: Dados da pesquisa do autor.

[illegible]

(Conclusão)

	Ano											
	2015									2016		
	Abr.	Maio	Jun.	Jul.	Ago.	Set.	Out.	Nov.	Dez.	Jan.	Fev.	Mar.
Concentrado	16,8	29,1	28,0	28,6	23,3	22,5	23,3	25,6	26,5	26,5	17,7	3,8
Silagem	4,5	9,8	11,3	7,8	9,1	10,5	4,7					
Pastagem	23,1	2,6	1,6	24,2	24,2	23,5	33,9	64,7	66,9	66,9	44,7	9,6
Total	44,4	41,4	40,9	60,6	56,6	56,5	61,9	90,3	93,3	93,3	62,4	13,3
Saída (kg de K mês ⁻¹)												
Leite	4,2	8,4	10,7	13,3	10,5	4,6	7,9	36,8	6,9	6,8	2,4	0,6
Balanço (kg de K mês ⁻¹)	40,1	33,0	30,2	47,3	46,2	51,9	54,0	53,5	86,4	86,5	60,0	12,7
Eficiência de Uso (% K)	9,5	20,3	26,1	22,0	18,5	8,1	12,8	40,8	7,4	7,3	3,8	4,8

Fonte: Dados da pesquisa do autor.

APÊNDICE G – Gráfico do balanço de nitrogênio e eficiência de uso do nitrogênio do Grupo 1

Fonte: Dados da pesquisa do autor.

APÊNDICE H – Gráfico do balanço de nitrogênio e eficiência de uso do nitrogênio do Grupo 2

Fonte: Dados da pesquisa do autor.

APÊNDICE I – Gráfico do balanço de fósforo e eficiência de uso do fósforo do Grupo 1

Fonte: Dados da pesquisa do autor.

APÊNDICE J – Gráfico do balanço de fósforo e eficiência de uso do fósforo do Grupo 2

Fonte: Dados da pesquisa do autor.

APÊNDICE K – Gráfico do balanço de potássio e eficiência de uso do potássio do Grupo 1

Fonte: Dados da pesquisa do autor.

APÊNDICE L – Gráfico do balanço de potássio e eficiência de uso do potássio do Grupo 2

Fonte: Dados da pesquisa do autor.

Apêndice M – Quadro de estabelecimento de pesos dos fatores que determinaram o potencial de lixiviação e escoamento de nitrogênio

Potencial de lixiviação e escoamento de nitrogênio (N)			Sistema de produção		Laticínio	
Categoria	Fator		s ¹	w ²	s ¹	w ²
Fatores ambientais	Atmosfera	Deposição de Nitrogênio	1	10	1	10
	Solo	Textura do solo para lixiviação	0,67	15	0,67	15
		Textura do solo para escoamento	0,33	10	0,33	10
		Drenagem natural lixiviação	0,67	10	0,67	10
		Drenagem natural escoamento	0,67	5	0,33	5
	Clima	Precipitação	1	15	0,67	15
Práticas agrícolas	Fixação de N (kg ha ⁻¹)		0	10	0	10
	Taxa de aplicação		0,67	10	0,67	10
	Produção de culturas		0,33	5	0	5
	Práticas de Manejo		0,33	10	0	10
α³ mínimo			0,01		0,01	
α³ máximo			0,25		0,25	
Valor de alfa (α)³			0,15		0,13	

Fonte: Dados da pesquisa do autor.

Legenda: ¹ score dos fatores; ² peso dos fatores; ³ fração de lixiviação de escoamento de nitrogênio.

Apêndice N – Quadro de estabelecimento de pesos dos fatores que determinaram o potencial de lixiviação e escoamento de fósforo

Potencial de lixiviação e escoamento de fósforo (P)			Sistema de produção		Laticínio	
Categoria	Fator		s ¹	w ²	s ¹	w ²
Fatores ambientais	Solo	Textura do solo para escoamento	0,33	15	0,33	15
		Erosão do solo	0	20	0	20
		Conteúdo de P (g P m ⁻²)	0	15	0	15
	Clima	Intensidade de precipitação	0	10	0,33	10
Práticas agrícolas	Taxa de aplicação		0,33	15	0,67	15
	Produção de culturas		0,33	10	0,33	10
	Práticas de Manejo		0,33	15	0	15
α ³ mínimo			0,0001		0,0001	
α ³ máximo			0,05		0,05	
Valor de alfa (α) ³			0,009		0,011	

Fonte: Dados da pesquisa do autor.

Legenda: ¹score dos fatores; ² peso dos fatores; ³ fração de lixiviação de escoamento de nitrogênio.

Apêndice O – Pegada hídrica verde, azul e cinza, do produto leite bovino

Fonte: Dados da pesquisa do autor.