

UNIVERSIDADE FEDERAL DE JUIZ DE FORA
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM ECOLOGIA APLICADA
AO MANEJO E CONSERVAÇÃO DE RECURSOS NATURAIS

Thaís Moreira de Classe

**ESTUDO DA PEGADA HÍDRICA E CARACTERIZAÇÃO QUALI-
QUANTITATIVA DA ÁGUA DE ESCOAMENTO SUPERFICIAL DA
PECUÁRIA EXTENSIVA EM CONDIÇÕES DE CLIMA TROPICAL**

Juiz de Fora

2018

Thaís Moreira de Classe

**ESTUDO DA PEGADA HÍDRICA E CARACTERIZAÇÃO QUALI-
QUANTITATIVA DA ÁGUA DE ESCOAMENTO SUPERFICIAL DA
PECUÁRIA EXTENSIVA EM CONDIÇÕES DE CLIMA TROPICAL**

Dissertação apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Ecologia e Conservação de Recursos Naturais da Universidade Federal de Juiz de Fora, como parte dos requisitos necessários à obtenção do grau de Mestre em Ecologia Aplicada a Conservação e Manejo de Recursos Naturais.

Orientador: Celso Bandeira de Melo Ribeiro
Co-orientador: Wadson Sebastião Duarte da Rocha

Juiz de Fora

2018

Ficha catalográfica elaborada através do programa de geração automática da Biblioteca Universitária da UFJF, com os dados fornecidos pelo(a) autor(a)

Classe, Thaís Moreira de.

Estudo da pegada hídrica e caracterização quali-quantitativas da água de escoamento superficial da pecuária extensiva em condições de clima tropical / Thaís Moreira de Classe. -- 2018.

104 p.

Orientador: Celso Bandeira de Melo Ribeiro

Coorientador: Wadson Sebastião Duarte da Rocha

Dissertação (mestrado acadêmico) - Universidade Federal de Juiz de Fora, Instituto de Ciências Biológicas. Programa de Pós Graduação em Ecologia, 2018.

1. Pegada hídrica. 2. Pecuária extensiva. 3. Erosão laminar. 4. Produção leiteira. I. Ribeiro, Celso Bandeira de Melo, orient. II. Rocha, Wadson Sebastião Duarte da, coorient. III. Título.

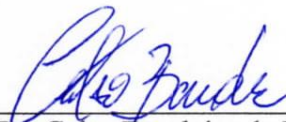
**" ESTUDO DE PEGADA HÍDRICA E CARACTERIZAÇÃO QUALI-
QUANTITATIVA DA ÁGUA DE ESCOAMENTO SUPERFICIAL DA PECUÁRIA
EXTENSIVA EM CONDIÇÕES DE CLIMA TROPICAL."**

Thaís Moreira de Classe

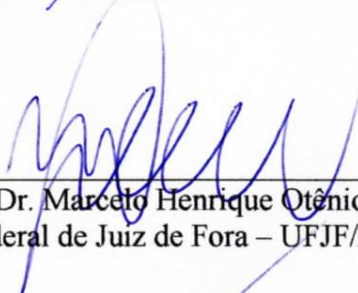
Orientador: Prof. Dr. Celso Bandeira de Melo Ribeiro

Dissertação apresentada ao Instituto de Ciências Biológicas, da Universidade Federal de Juiz de Fora, como parte dos requisitos para obtenção do Título de mestre em Ecologia Aplicada ao Manejo e Conservação de Recursos Naturais.

Aprovado em 23 de maio de 2018.



Prof. Dr. Celso Bandeira de Melo Ribeiro
Universidade Federal de Juiz de Fora – UFJF



Prof. Dr. Marcelo Henrique Otênio
Universidade Federal de Juiz de Fora – UFJF/EMBRAPA



Prof. Dr. Henrique Vieira de Mendonça
Hidrosphera Eng. Ambietal

*“Não quero sonhos com hora marcada pra acabar,
prefiro essas histórias imperfeitas pra contar.”*

(FRESNO)

Em memória de Efedrina, melhor amigo felino.

AGRADECIMENTOS

Concluir essa etapa e produzir um documento tão complexo como é o caso de uma dissertação de mestrado seria um trabalho impossível de ser realizado sozinha e, portanto, gostaria de agradecer:

À minha família, por todas as cobranças desde sempre, mas que em contrapartida, sempre me deram suporte para a realização minhas conquistas.

Aos meus amigos e colegas que sempre me apoiaram em especial à Simone Cardoso, Anne, Alberto e Marcel, que me ajudaram e ensinaram muito e são exemplos para mim.

Ao Prof. Dr. Celso Bandeira de Melo Ribeiro pela orientação e ao Dr. Wadson Sebastião Duarte da Rocha pela co-orientação e coletas realizados juntos. Ao Dr. Carlos Eugênio (Cacá) pela ajuda principalmente no campo durante a montagem das parcelas.

Ao Dr. Marcelo Henrique Otênio e Vanessa de Paula Romario que ainda durante minha graduação me deram oportunidade e espaço pra aprender dentro da Embrapa Gado de Leite e confiaram em mim para desenvolver esse projeto que acabou se tornando este trabalho apresentado aqui na forma da minha dissertação.

Agradeço também à própria Embrapa, pelo local e materiais cedidos e a todos que trabalharam comigo diretamente na fazenda, principalmente Jonas, Evandro, Reginaldo, Cassia, Léo, Zé e demais bolsistas e estagiários já que sem a ajuda deles, as coletas e, conseqüentemente este trabalho, seriam impossíveis.

À Prof. Dra. “Fatinha” Salimena, por quem tenho enorme carinho, foi quem me introduziu no meio acadêmico quando eu ainda era uma criança no ensino médio e me ajudou a me preparar para a seleção.

À CAPES (Coordenação de Aperfeiçoamento do Pessoal de Nível Superior) pela concessão da bolsa de pesquisa que possibilitou minha dedicação exclusiva durante todo o meu mestrado.

E finalmente agradecer à Universidade Federal de Juiz de Fora e ao Programa de Pós-Graduação em Ecologia pela oportunidade de aperfeiçoamento pessoal e acadêmico.

RESUMO

Nesta pesquisa foram realizados estudos em parcelas experimentais para a determinação da pegada hídrica, características quali-quantitativas da água de escoamento superficial e comparar a erosão real com os valores estimados pela USLE (*Universal Soil Loss Equation*), na atividade de produção leiteira extensiva. O experimento foi desenvolvido na fazenda da Embrapa Gado de Leite, situada no município de Coronel Pacheco – MG, utilizando gado mestiço (girolando) e dados meteorológicos. Foram montadas 12 parcelas experimentais usando 3 tipos de forrageiras, *Panicum maximum* cv. Zuri, *Brachiaria decumbens* cv. Basilisk e *Panicum maximum* cv. Quênia, com quatro repetições espaciais para cada forrageira. Foram calculadas as águas verde e cinza de cada capim onde o Zuri se mostrou o mais eficiente e o Quênia, ambas espécies de *Panicum maximum*, demonstrou-se menos eficiente. Foi calculado um único valor para água azul, uma vez que o gado utilizado no experimento foi em todas as forrageiras, e resultou em de 14L kg⁻¹ de leite. O valor médio da demanda hídrica entre os três capins foi de 1,393 m³ kg⁻¹ de leite, o que é 11,6% maior do que a média mundial. Ressalta-se que a água verde variou entre 96% do valor total da demanda hídrica, 3% foi o percentual de água cinza, enquanto apenas 1% é água azul, indicando que a pecuária extensiva impacta menos do que outros sistemas que precisam de irrigação. A pegada hídrica se mostrou uma ferramenta relevante e adequada para quantificações de demandas hídricas, cumprindo o que foi proposto para o trabalho além de ser uma metodologia flexível. A perda de solo real e estimada para a *Brachiaria* foi de 0,038402 e 0,040086 t ha⁻¹ semestre⁻¹ respectivamente, sendo valores bastante próximos, porém, no caso das *P. maximum*, os valores estimados foram aproximadamente 2,3 vezes em comparação com o total amostrado. Esse resultado aponta para uma superestimativa da USLE em relação aos valores observados em campo.

Palavras-Chave: Pegada Hídrica; Pecuária Extensiva; Erosão Laminar; Produção Leiteira.

ABSTRACT

In this research, studies were carried out in experimental plots for the determination of the water footprint, qualitative and quantitative characteristics of the runoff water and to compare the real erosion with the values estimated by the Universal Soil Loss Equation (USLE) in extensive dairy production. The experiment was carried out at the farm of Embrapa Gado de Leite, located in the municipality of Coronel Pacheco - MG, using crossbred cattle and meteorological data. Twelve experimental plots were used using three types of forages, *Panicum maximum* cv. Zuri, *Brachiaria decumbens* cv. Basilisk and *Panicum maximum* cv. BRS Quenia, with four spatial replicates for each forage. Green and gray water were calculated from each grass where Zuri was the most efficient and Quenia, both species of *Panicum maximum*, was less efficient. A single value for blue water was calculated, since the cattle used in the experiment was in all forages, and resulted in 14L kg⁻¹ milk. The average value of water demand among the three weeds was 1,393 m³ kg⁻¹ of milk, which is 11.6% higher than the world average. It is noteworthy that green water ranged from 96% of the total value of water demand, 3% was the percentage of gray water, while only 1% was blue water, indicating that extensive livestock farming impacts less than other systems that need irrigation. The water footprint proved to be a relevant and adequate tool for quantification of water demands, fulfilling what was proposed for the work besides being a flexible methodology. The real and estimated soil loss for *Brachiaria* was 0.038402 and 0.040086 t ha⁻¹ semester⁻¹ respectively, with values being close enough, however, in the case of *P. maximum*, the estimated values were approximately 2.3x compared to the total sampled. This result points to an overestimation of USLE in relation to the values observed in the field.

Keywords: Water Footprint; Extensive Livestock; Laminar Erosion; Dairy Production.

LISTA DE FIGURAS

Figura 1 – Alguns exemplos comuns de pegada hídrica da forma que são apresentados pelas mídias	23
Figura 2 – (A) Capa “Manual da Pegada Hídrica: Estado da Arte 2009”; (B) Capa “Manual de Avaliação da Pegada Hídrica: Estabelecendo o Padrão Global”	25
Figura 3 – Representação esquemática dos componentes da pegada hídrica.....	27
Figura 4 – As quatro fases na avaliação completa de uma pegada hídrica	28
Figura 5 – Pegada Hídrica média mundial (m ³ ano ⁻¹ per capta) no período de 1996 a 2005.....	31
Figura 6 – Pegada Hídrica média mundial na água azul (m ³ ano ⁻¹ per capta) no período de 1996 a 2005	32
Figura 7 – Pegada Hídrica média mundial na água verde (m ³ ano ⁻¹ per capta) no período de 1996 a 2005	33
Figura 8 – Pegada Hídrica média mundial na água cinza (m ³ ano ⁻¹ per capta) no período de 1996 a 2005	34
Figura 9 – Fluxo de importação da água virtual entre regiões pelo comércio de produtos agrícolas entre 1997 e 2001	36
Figura 10 – Distribuição temporal do número de publicações que constam “Water Footprint” em seu título em todo mundo no período entre 2002 e 2016....	44
Figura 11 – Distribuição por tipo de publicação que constam “Water Footprint” em seu título em todo mundo no período entre 2002 e 2016	46
Figura 12 – Distribuição temporal do número de publicações brasileiras que apresentam a palavra chave “Pegada Hídrica” no período entre 2010 e 2016	47
Figura 13 – Distribuição por tipo de publicação dos trabalhos brasileiros que apresentam a palavra chave “Pegada Hídrica” no período entre 2010 e 2016	47
Figura 14 – Distribuição espacial das publicações nacionais a partir do local da sede institucional do autor.....	48
Figura 15 – Isoietas de precipitações médias anuais no País, entre 1961 e 1990.....	50
Figura 16 – Localização e área de avaliação e do Campo Experimental da Embrapa Gado de Leite em Coronel Pacheco	61
Figura 17 – Esquema da parcela experimental	62
Figura 18 – Demonstração dos tipos de forrageiras	63
Figura 19 – Distribuição dos setores na Jaguará, Campo Experimental da Embrapa Gado de Leite em Coronel Pacheco. (Lat.: 21°33'1.74"S Long.: 43°15'31.11"O).....	63
Figura 20 – Composição da demanda hídrica por tipo de água considerando a demanda hídrica de cada tipo de forrageira	69

Figura 21 – Demandas hídricas em m ³ por kg de leite produzido, comparando as médias mundiais e brasileiras segundo Mekonnen e Hoekstra (2010) e comparando com os valores médios por tipo de capim usados	70
Figura 22 – Fluxograma ilustrando as fases práticas do funcionamento e amostragem do experimento.....	81
Figura 23 – Volumes de chuva ocorridos no ano de 2017 em comparação com os registros históricos para Coronel Pacheco - MG.....	84
Figura 24 – Gráficos comparativos entre as médias dos capins em relação: a) ao volume de água escoado e b) à quantidade de sedimentos produzidos após precipitação natural.....	85
Figura 25 – Análise dos componentes principais considerando parâmetros físicos e químicos das amostras	87
Figura 26 – Análise dos componentes principais considerando apenas os parâmetros físicos.....	88
Figura 27 – Gráfico comparando as perdas de solo estimadas para os três tipos de capins utilizados no experimento	90
Figura 28 – Comparação entre as perdas de solo, real e estimada, referentes ao período entre janeiro e junho de 2017, para três tipos de forrageiras.....	91

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 – Comparação entre as principais metodologias de quantificação de consumo de água	42
Tabela 2 – Relação dos principais autores sobre pegada hídrica no mundo por número de trabalhos publicados e suas respectivas afiliações	45
Tabela 3 – Principais periódicos com publicações sobre pegada hídrica no mundo ordenado pelo número de trabalhos	46
Tabela 4 – Relação dos principais autores brasileiros sobre pegada hídrica por número de trabalhos publicados e sua respectiva afiliação institucional	49
Tabela 5 – Volume de água verde demandado anualmente pelo sistema de produção de leite a pasto por tipo de forrageira	67
Tabela 6 – Volume de água azul demandado anualmente pelo sistema de produção de leite a pasto	67
Tabela 7 – Volume de água necessário anualmente para assimilação da carga poluidora considerando os padrões de lançamento da Resolução CONAMA nº 357	68
Tabela 8 – Volume de água cinza demandado anualmente pelo sistema de produção de leite a pasto por tipo de forrageira	68
Tabela 9 – Demanda Hídrica total (água verde + água azul + água cinza) anual do sistema de produção de leite a pasto por tipo de forrageira	68
Tabela 10 – Características da área e da composição as forrageiras utilizadas no experimento	85
Tabela 11 – Quantidade estimada de sedimentos arrastados em três intervalos de tempo distintos, para os três tipos de capins estudados.....	90
Tabela 12 – Valores de perda de solo, real e estimada, para os três tipos de capins estudados	91

LISTA DE ABREVIações

- ACV – Avaliação do Ciclo de Vida
- ANA – Agência Nacional de Águas
- CECP – Centro Experimental de Coronel Pacheco
- CONAMA – Conselho Nacional do Meio Ambiente
- DBO – Demanda Bioquímica de Oxigênio
- DQO – Demanda Química de Oxigênio
- EMBRAPA – Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária
- FAO – *Food and Agriculture Organization*
- GEMI – *Global Environmental Management Initiative*
- GIBH – Gestão Integrada da Bacia Hidrográfica
- GIRH – Gestão Integrada dos Recursos Hídricos
- GPS – *Global Positioning System*
- INMET – Instituto Nacional de Meteorologia
- ISO – *International Organization for Standardization*
- PCA – *Principal Component Analysis*
- PH – Pegada Hídrica
- UA – Unidade Animal
- UNESCO - *United Nations Educational, Scientific and Cultural Organization*
- USLE – *Universal Soil Loss Equation*
- WBCSD – *World Business Council for Sustainable Development*
- WFN – *Water Footprint Network*

SUMÁRIO

1 INTRODUÇÃO	13
2 JUSTIFICATIVA	16
3 OBJETIVOS	18
4 REFERÊNCIAS	19
CAPÍTULO 1: PEGADA HÍDRICA - REVISÃO BIBLIOGRÁFICA, HISTÓRICO, CONTEXTUALIZAÇÃO E ANÁLISE BIBLIOMÉTRICA	21
RESUMO	21
ABSTRACT	22
1 INTRODUÇÃO	23
2 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA	24
2.1 HISTÓRICO	24
2.2 RECONHECIMENTO INTERNACIONAL	26
2.3 CONCEITO	27
2.4 INDICADOR AMBIENTAL	29
2.4.1 SUSTENTABILIDADE E ESCALA DE USO	29
2.5 FATORES QUE INFLUENCIAM O VALOR DE UMA PEGADA HÍDRICA	30
2.6 TIPOS DE PEGADA HÍDRICA	32
2.6.1 PEGADA HÍDRICA AZUL	32
2.6.2 PEGADA HÍDRICA VERDE	33
2.6.3 PEGADA HÍDRICA CINZA	34
2.6.4 PEGADA HÍDRICA DIRETA E INDIRETA	35
2.6.5 PEGADA HÍDRICA INTERNA E EXTERNA	35
2.7 MEIOS DE REDUÇÃO	36
2.8 LIMITAÇÕES E CRÍTICAS	37
2.9 DESAFIOS FUTUROS	38
2.10 OUTRAS METODOLOGIAS DE QUANTIFICAÇÃO	40
3 ANÁLISE BIBLIOMÉTRICA	42
3.1 NO MUNDO	44
3.2 NO BRASIL	47
4 PEGADA HÍDRICA NO BRASIL E SEU SETOR PECUÁRIO	49
4.1 A RELAÇÃO DA AGROPECUÁRIA COM OS RECURSOS HÍDRICOS	50
5 CONSIDERAÇÕES FINAIS	51

6 REFERÊNCIAS	52
CAPÍTULO 2: DETERMINAÇÃO DA DEMANDA HÍDRICA DA PRODUÇÃO DE LEITE NA PECUÁRIA EXTENSIVA POR MEIO DA PEGADA HÍDRICA.....	57
RESUMO	57
ABSTRACT.....	58
1 INTRODUÇÃO	59
2 OBJETIVOS.....	60
3 MATERIAL E MÉTODOS.....	61
3.1 ÁREA DE ESTUDO	61
3.2 PARCELAS EXPERIMENTAIS.....	62
3.3 COLETAS E ANÁLISES QUÍMICAS DA ÁGUA.....	63
3.4 CÁLCULOS DAS PEGADAS HÍDRICAS	64
3.4.1 ÁGUA VERDE.....	64
3.4.2 ÁGUA AZUL.....	65
3.4.3 ÁGUA CINZA	66
4 RESULTADOS E DISCUSSÃO.....	67
5 CONCLUSÃO	71
6 REFERÊNCIAS	71
CAPÍTULO 3: ANÁLISE QUALI-QUANTITATIVA DA ÁGUA DE ESCOAMENTO SUPERFICIAL NA PECUÁRIA EXTENSIVA, UTILIZANDO TRÊS TIPOS DE FORRGEIRAS EM CONDIÇÕES DE CLIMA TROPICAL	75
RESUMO	75
ABSTRACT.....	76
1 INTRODUÇÃO	77
2 OBJETIVOS.....	79
3 MATERIAL E MÉTODOS.....	80
3.1 COLETAS E ANÁLISES DE ÁGUA E SEDIMENTOS.....	80
3.2 DETERMINAÇÃO DA PRODUÇÃO VEGETAL	81
3.3 ANÁLISES ESTATÍSTICAS.....	81
3.4 FATORES DA USLE	82
4 RESULTADOS E DISCUSSÃO.....	83
4.1 CARACTERIZAÇÃO DAS FORRAGEIRAS	84
4.2 ANÁLISE MULTIVARIADA DOS PARÂMETROS FÍSICO-QUÍMICOS	86
4.3 CÁLCULO DA USLE	89
4.3.1 FATOR DE EROSIVIDADE (R)	89
4.3.2 PERDA DE SOLO MÉDIA (A)	90

4.3.3 COMPARAÇÃO ENTRE PERDAS DE SOLO OBSERVADA E ESTIMADA	91
5 CONCLUSÃO	92
6 REFERÊNCIAS	93
7 RECOMENDAÇÕES FUTURAS	95
APENDICE 1.....	96
APENDICE 2.....	97
APENDICE 3.....	99
APENDICE 4.....	100
APENDICE 5.....	101
APENDICE 6.....	102
APENDICE 7	103

1 INTRODUÇÃO

Nas últimas décadas os recursos hídricos vêm se destacando cada vez mais nas reuniões que consideram assuntos de interesse globais causados pelo crescimento acelerado da população mundial e pelo aumento do consumo de produtos de origem animal nas dietas, especialmente em países em desenvolvimento, além do aumento na demanda de bens e serviços acarretará no aumento da pressão sobre os recursos naturais de forma insustentável (UNDP, 2006).

Segundo Ringler *et al.* (2010) a disponibilidade de água doce potável deverá diminuir em 50% em 2050 devido exclusivamente ao crescimento populacional. Clark (2014), presidente da Nestlé, considera a escassez de água um problema mais urgente do que as mudanças climáticas. Caso não haja um esforço em curto prazo para reduzir tais pressões sobre esse recurso, a água pode se tornar fator limitante para a humanidade (Odum e Barrett, 2014).

Neste contexto, começou-se a dar atenção ao comércio de produtos que utilizavam considerável quantidade da água durante sua produção dando origem a ideia de "Água Virtual", que foi definida como o volume de água doce usada para produzir determinado produto (mercadoria, bem ou serviço) e considerando a água utilizada em todas as fases de produção.

A partir dessa ideia, foi criado o conceito de pegada hídrica como sendo o volume total de água doce usada durante a produção e o consumo de bens e serviços, bem como o consumo direto e indireto das águas nos processos de produção (Silva *et al.*, 2013). Seu surgimento veio como alternativa de mensurar o consumo e constituir assim um indicador de sustentabilidade ambiental, uma vez que a maior parte da água utilizada vem dos produtos e não do consumo diário direto (Maracajá, 2012).

Segundo uma pesquisa realizada por Hoekstra e Mekonnen (2010), cerca de 27% da pegada hídrica humana está ligada ao consumo de produtos de origem animal; o consumo para dessedentação e consumo humano em

casa é apenas cerca de 4%, demonstrando como o tipo de dieta pode interferir na pegada hídrica.

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. O cálculo diferencia a demanda de água verde (água da chuva, desconsiderando o volume de percolação profunda); 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).

A metodologia considera componentes indiretos (água utilizada na produção dos alimentos) e diretos (água consumida na dessedentação e serviços) (Hoekstra *et al.*, 2011). Por isso, possibilita uma visão mais ampla do uso dos recursos hídricos sendo capaz de reunir temas como escassez, eficiência de processos, pressão sobre a qualidade da água, planejamento do uso do solo e dessa forma é possível analisar de maneira mais abrangente as questões relativas à sustentabilidade dos processos (Leao, 2013).

A sustentabilidade da pegada hídrica está ligada diretamente à disponibilidade hídrica local e leva em consideração as características específicas da região em estudo, seja em pequenas (pequenas bacias hidrográficas, cidades) ou grandes escalas (grandes bacias hidrográficas, estados, países). Por isso é importante que o estudo seja realizado com os limites da área ou domínio espacial bem definidos já que o impacto calculado vai variar de acordo com esses fatores. Por exemplo, uma pegada hídrica considerada grande gera um impacto pequeno onde há grande disponibilidade hídrica, já num local com escassez, a menor das pegadas já causaria um enorme impacto no local. (Majacajá, 2012; Silva *et al.*, 2013).

Quando insustentável, a pegada hídrica interfere em quantidade e qualidade e devem-se analisar os impactos em caráter primário, afetando vazão e qualidade na área e/ou secundário, ausência de água potável,

impactos sociais, econômicos e na saúde, perda de biodiversidade e de outros fatores ecológicos (Hoekstra *et al.*, 2011; Maracajá, 2012).

Nas atividades de produção de leite da pecuária extensiva, há uma notável influência do tipo de pastagem utilizado, sobre a qualidade da água que escoar superficialmente, seja na produção de sedimentos, alterando o ciclo hidrossedimentológico natural do local, seja em outros parâmetros de qualidade da água como Nitrogênio, Fósforo, dentre outros.

Com relação à erosão, pode-se dizer que um das principais tipos encontrados no país é a erosão hídrica que ocasiona a perda de solo e pode ser agravada pela falta ou inadequação de manejo nas áreas. Além de causar assoreamento de corpos d'água, sulcos, voçorocas, etc. A erosão laminar afeta diretamente a produtividade dos campos, uma vez que junto do escoamento superficial, não se vão apenas partículas de solo desprendidas, mas também boa parte dos nutrientes que estavam disponíveis nas camadas mais superficiais da área.

Neste sentido, alguns trabalhos vêm sendo desenvolvidos para melhor compreender os impactos das diferentes espécies vegetais na produção de sedimentos, por erosão laminar, tais como: Barretto *et al.* (2008), Bertoni e Lombardi Neto (2010) e Carvalho (2012).

Já em relação aos parâmetros de qualidade da água do escoamento superficial em atividades de pecuária extensiva, pode-se dizer que aqueles mais significativos são os nutrientes (Nitrogênio e Fósforo), que estão diretamente relacionados à urina, fezes dos animais.

Sendo assim esta pesquisa foi estruturada em três capítulos. O capítulo 1 apresenta uma revisão de literatura ampla e detalhada sobre a pegada hídrica, inicialmente com uma visão holística do cenário mundial, até chegar às especificidades das atividades de produção de leite no Brasil. Para isso explora seu histórico, conceito, cenários, tipos, etc. Apresenta, também, um enfoque de como a pegada hídrica pode auxiliar no manejo hídrico mais eficiente em atividades agropecuárias. Além da revisão, traz uma abordagem bibliométrica visando ilustrar a tendência, mundial e nacional da utilização da pegada hídrica

como indicador hídrico, tendo como objetivos específicos apresentar o padrão de distribuição temporal das publicações, apresentar os principais autores, identificar as principais instituições, e caracterizar os tipos de publicações.

O capítulo 2 apresenta o experimento realizado para a determinação da demanda hídrica da produção de leite na pecuária extensiva a partir da metodologia da pegada hídrica. Neste capítulo foi estimado o quanto de água é necessário para a produção de cada litro de leite, utilizando o cálculo das pegadas hídricas verde e cinza para os diferentes tipos de forrageira utilizadas no experimento e pegada hídrica azul para o gado leiteiro extensivo. Ao final, foi estimada a demanda hídrica total do sistema.

No capítulo 3 foi realizada uma comparação da erosão laminar real e estimada pela metodologia USLE para três forrageiras em Coronel Pacheco, MG. Neste capítulo foram comparados dados medidos em campo sobre perda de solo após precipitação natural de três diferentes capins, com os dados estimados pelo modelo USLE.

2 JUSTIFICATIVA

Historicamente, a relação da produção brasileira de bens e serviços, com a água, é de exploração do recurso. Isso se deve a perpetuação da ideia de que o país é rico em água, por isso ela nunca irá faltar. Essa imagem não poderia ser mais enganada.

O país tem grande disponibilidade hídrica, mas o maior volume de águas superficiais está na região Norte do país (Bacia Amazônica). Há também abundância de águas subterrâneas, mas muitas vezes o custo de captação é elevado e/ou a qualidade não se adequa aos padrões necessários ao consumo. Com isso, já se observam diversos casos de escassez, poluição e conflitos pelo uso da água, pois a necessidade dos usuários é maior do que a oferta de água em determinadas regiões. É preciso estar ciente dos riscos que a falta de água significa e melhorar a eficiência da utilização da água (Girard, 2012).

A água é um requisito fundamental para todos os sistemas de produção, mas como objeto de pesquisa, tem recebido pouca atenção. Os estudos têm destacado a incompatibilidade entre a disponibilidade hídrica e a demanda de água (Hoekstra *et al.*, 2012). As métricas são fundamentais para avaliar o desempenho das atividades e relevantes para orientar produtores e consumidores em suas decisões.

A avaliação da demanda hídrica traz a discussão outros conceitos que cada vez mais estarão presentes no dia a dia como o de eficiência hídrica (relação entre a quantidade de produtos produzidos pela quantidade de água utilizada para gerar esses produtos) que é o de maior importância e entendido como um indicador de desempenho hídrico. Possuir essas informações permitirá o planejamento e o desenvolvimento de ações, práticas, políticas e programas a fim de melhorar a eficiência hídrica e por consequência trará segurança hídrica para o setor leiteiro nacional se tornando cada vez mais sustentável.

A pegada hídrica dos produtos de origem animal costuma ser maior do que a pegada hídrica de produtos agrícolas, pois é calculada a partir da pegada hídrica de toda sua alimentação considerando toda sua vida e todo o volume de água consumido seja diretamente para dessedentação como indiretamente como para higiene e outras atividades (Giacomin e Ohnuma, 2012; Silva *et al.*, 2013).

Mekonnen e Hoekstra (2010) ressaltam que a precisa pegada de um quilograma de leite deve ser calculada para cada sistema produtivo de forma personalizada, pois depende do local onde o sistema está localizado, disponibilidade hídrica local, do tipo de animal, a composição e origem dos alimentos e as formas de uso da água (dessedentação, irrigação, resfriamento, lavagem). O Brasil possui características produtivas inerentes à região tropical e ao seu nível tecnológico, portanto precisa dessa pesquisa para deixar de ser refém de estudos internacionais e ter parâmetros personalizados para que seja possível uma tomada de decisão mais eficiente.

Cabe destacar que, nas atividades de produção extensiva, existem os impactos secundários que afetam o equilíbrio hidrossedimentológico local, que também devem ser analisados, em conjunto com o balanço hídrico associado a essa atividade.

3 OBJETIVOS

O objetivo principal deste trabalho é responder às seguintes perguntas: a) “quanto de água é necessária para a produção de um litro de leite, na pecuária extensiva?” e b) “qual o impacto da produção extensiva de leite, na qualidade da água de escoamento superficial e na produção de sedimentos por erosão laminar?”. Estas são questões complexas que envolvem diversas peculiaridades durante a produção extensiva de leite e que devem ser sanadas com execução de pesquisas científicas desenvolvidas “*in loco*”.

Como objetivos específicos, apresentam-se:

- Avaliar o contexto atual da pegada hídrica em diferentes níveis: mundial, no Brasil e em atividades de produção leiteira;
- Fazer um levantamento bibliométrico do cenário mundial e brasileiro da utilização da pegada hídrica;
- Determinar “*in loco*” a pegada hídrica verde, azul e cinza em atividades de produção leiteira extensiva;
- Estimar a demanda hídrica da produção leiteira a partir da metodologia da pegada hídrica;
- Avaliar os parâmetros químicos de qualidade da água de escoamento superficial relacionados às atividades de produção extensiva de leite;
- Comparar a produção de sedimentos com dados observados e estimados pela USLE, a partir de atividades de produção extensiva de leite.

4 REFERÊNCIAS

BARRETTO, A. G. O. P.; BARROS, M. G. E.; SPAROVEK, G. Bibliometria, história e geografia da pesquisa brasileira em erosão acelerada do solo. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v.32, pp. 2443-2460, 2008.

BERTONI, J.; LOMBARDI NETO, F. **Conservação do Solo**. São Paulo: Ícone, 2010.

CARVALHO, Anne Caroline Barbosa de. **Avaliação da perda de solo por fluxo superficial em cultivos puro e consorciado**. Dissertação (Mestrado em Ecologia) – Universidade Federal de Juiz de Fora, Juiz de Fora, 2012. 91p.

CLARK, Pilita. Water shortages more pressing than climate change, warns Nestlé head. **Financial Times**, p. 1, 2014.

GIRARD, Christiane L. Reducing the impact of animal production on the water supply: increasing knowledge is the only solution. **Animal Frontiers**, v.2, p.1-2. 2012

GIACOMIN, George Scarpat.; OHNUMA JR, Alfredo Akira. Análise de resultados de pegada hídrica por países e produtos específicos. **Revista Eletrônica em Gestão, Educação e Tecnologia Ambiental**. v.8, n.8, p.1562-1572. 2012.

HOEKSTRA, Arjen Ysbert; CHAPAGAIN, Ashok K.; ALDAYA, Maite M.; MEKONNEN, Mesfin M. **The water footprint assessment manual: setting the global standard**. Londres: Earthscan, 2011. 80p.

HOEKSTRA, Arjen Y. et al. Global monthly water scarcity: blue water footprints versus blue water availability. **PLoS One**, v. 7, n. 2, p. e32688, 2012.

LEAO, Renata de Souza. Pegada hídrica: visões e reflexões sobre sua aplicação. **Ambiente & Sustentabilidade**. v.16, n.4, p.159-162. 2013.

MARACAJÁ, Kettrin Farias Bem et al. Pegada hídrica como indicador de sustentabilidade ambiental. **REUNIR - Revista de Administração, Contabilidade E Sustentabilidade**. v. 2, n. 2, p.113-125. 2012.

MEKONNEN, Mesfin M.; HOEKSTRA, Arjen Y. **The green, blue and grey water footprint of farm animals and animal products**. Delf: UNESCO-IHE Institute for water education, 2010. 50p.

ODUM, Eugene P., BARRETT, Gary W. **Fundamentos De Ecologia**. São Paulo: Cengage learning, 2014.

RINGLER, Claudia et al. Water and food security under global change. **In: Global Change: Impacts on Water and Food Security**. Berlin: Springer Heidelberg, p. 3-15, 2010.

SILVA, Vicente de Paula R. et al. Uma medida de sustentabilidade ambiental: pegada hídrica. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**. v. 17, n. 1, p. 100-105. 2013.

UNITED NATIONS DEVELOPMENT PROGRAMME. **Human development report 2006 – beyond scarcity: power, poverty and the global water crisis**. Nova Iorque: United Nations Development Programme, 2006. 422p.

CAPÍTULO 1

PEGADA HÍDRICA - REVISÃO BIBLIOGRÁFICA, HISTÓRICO, CONTEXTUALIZAÇÃO E ANÁLISE BIBLIOMÉTRICA.

RESUMO

Esse capítulo buscou trazer de forma completa e abrangente uma revisão sobre a pegada hídrica, seu conceito e aplicabilidade, compará-la com outros métodos existentes e identificar os desafios futuros que ela tem pela frente para se consolidar. Também foi realizado um levantamento bibliométrico e caracterizar o Brasil em relação a seus recursos hídricos na pecuária extensiva. Através da bibliometria foi possível identificar a distribuição temporal das publicações por anos que indicou estabilidade no número de publicações sobre o assunto no cenário mundial, enquanto no brasileiro, ainda há tendência de crescimento. Foram identificados os principais pesquisadores sobre esse tema, as instituições mais relevantes e os periódicos que apresentam maior afinidade com a metodologia. A pegada hídrica média brasileira é de $2044 \text{ m}^3 \text{ hab}^{-1} \text{ ano}^{-1}$, 47% maior do que a média mundial. Desse total, a maior parte, correspondendo a $1619 \text{ m}^3 \text{ hab}^{-1} \text{ ano}^{-1}$ (79% do total), são referentes ao consumo de produtos agropecuários. O setor agropecuário é responsável por mais de 20% do PIB brasileiro, constituindo o setor que mais contribui para a geração de riqueza do país. Sendo assim, o manejo deve ser feito de forma cada vez mais eficiente buscando a geração do menor impacto, em relação disponibilidade e qualidade dos recursos hídricos. Neste contexto, a pegada hídrica vem apresentando grande potencial como indicador da forma de produção e pode ser determinante para realização do monitoramento da demanda hídrica, em atividades agropecuárias, contribuindo para que as atividades se tornem cada vez mais sustentáveis.

Palavras-chave: Indicador Hídrico; Gerenciamento dos Recursos Hídricos; Bibliometria.

CHAPTER 1

WATER FOOTPRINT - BIBLIOGRAPHIC REVIEW, HISTORICAL, CONTEXTUALIZATION AND BIBLIOMETRIC ANALYSIS.

ABSTRACT

This chapter sought to bring a complete and comprehensive review of the Water Footprint, its concept and applicability, to compare it with other existing methods and to identify the future challenges that it has to consolidate. A bibliometric survey was also carried out and Brazil was characterized in relation to its water resources in extensive cattle ranching. Through bibliometrics it was possible to identify the temporal distribution of publications for years that indicated stability in the number of publications on the subject in the world scenario, while in Brazil, there is still a tendency for growth. The main researchers on this topic were identified, the most relevant institutions and the periodicals that show the greatest affinity with the methodology. The average Brazilian water footprint is 2044 m³ hab⁻¹ year⁻¹, 47% higher than the world average. Of this total, the majority, corresponding to 1619 m³ hab⁻¹ year⁻¹ (79% of the total), refer to the consumption of agricultural products. The agricultural sector is responsible for more than 20% of the Brazilian GDP, constituting the sector that contributes most to the country's wealth generation. Therefore, management must be done in an increasingly efficient way in order to generate the least impact, in relation to availability and quality of water resources. In this context, the water footprint has great potential as an indicator of the way of production and can be determinant for the monitoring of water demand, in agricultural activities, contributing to the fact that activities become increasingly sustainable.

Keywords: Water Indicator; Water Resources Management; Bibliometrics.

1 INTRODUÇÃO

A pegada hídrica é uma metodologia bastante recente que surgiu no início dos anos 2000 e desde então vem ganhando cada vez mais espaço nas discussões técnicas, comerciais e até mesmo populares. Muitas das vezes ela é apresentada sem um devido cuidado para esclarecer a forma com que é calculada o que gera uma certa polêmica ao se divulgar a quantidade de água utilizada com a produção de determinado bem ou realizando determinado serviço (Silva, 2013).

A imagem a seguir (Figura 1) ilustra essa forma de divulgação que pode causar confusão naqueles que não sabem como se aplica a metodologia para se chegar nesses valores.



Figura 1 – Alguns exemplos comuns de pegada hídrica da forma que são apresentados pelas mídias

O fato é que ela constitui uma forma diferente de contabilização do consumo de água, o que faz dela uma inovadora e uma promissora ferramenta na gestão hídrica (Kotsuka, 2013).

Este capítulo tem o objetivo de contextualizar historicamente, conceituar e ilustrar de forma geral o que é a pegada hídrica, os diferentes cenários e

tipos, além de seus pontos fortes e fracos. Ao final, são apresentadas algumas informações sobre os recursos hídricos brasileiros a fim de ilustrar como esta ferramenta pode vir a complementar a forma atual gestão de água.

2 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

2.1 HISTÓRICO

A preocupação com a comercialização da água como *commoditie* não é recente e vem sendo tratada muito antes da formulação de uma metodologia para sua quantificação e foi daí que surgiu a ideia do conceito que deu origem à pegada hídrica. Em 1992, na Conferência sobre Água e Meio Ambiente em Dublin, a água foi pela primeira vez reconhecida internacionalmente como recurso, sendo assim considerada escassa, limitada e dotada de valor econômico. A partir dessa condição, a água passou a pertencer a um mercado regulado por preços que dependiam das condições de oferta e demanda (Allan, 2003).

No final da década de 80 foi realizada uma análise que apontou que a exportação de água israelense em culturas intensivas não era plausível. Esta análise incentivou John Anthony Allan (também citado como “Tony Allan”), professor da *School of Oriental & African Studies* da *University of London* e no departamento de geografia do *Kings College*, também em Londres, a criar no início da década de 90 a expressão “*Virtual Water*” ou “Água Virtual”. No princípio o conceito também atendia pelo nome de “*Embedded Water*” ou “Água Embutida”, que segundo seu próprio criador na publicação *World Water Council* (2004), não teve muito impacto, ficando em segundo plano, apesar de ainda aparecer na literatura.

Segundo Carmo *et al.* (2007), a Água Virtual em sua essência diz respeito ao comércio indireto da água que está embutida nos produtos, especialmente as *commodities* agrícolas, enquanto matéria prima intrínseca desses produtos. A utilização do termo “virtual” é uma metáfora relativa à quantidade de água que efetivamente é necessária para obter um produto, mas não faz parte da constituição final dele (Arruda, 2010).

A partir do conceito de água virtual, um grupo liderado pelo professor Arjen Y. Hoekstra da Universidade de Twente na Holanda, e a UNESCO – IHE (*Institute for Water Education*) elaborou um conceito que se tornou mais reconhecido e operacional, a pegada hídrica (Seixas, 2011; Costa, 2014). Em 2002 o conceito foi introduzido durante uma reunião de peritos internacionais sobre comércio de água virtual, realizada em Delf, na Holanda.

Embora frequentemente utilizados como sinônimos os conceitos de água virtual e pegada hídrica apresentam uma diferença fundamental, conforme Neto (2011), água virtual é um indicador a partir do ponto de vista de produção, enquanto a pegada hídrica é um indicador sob a perspectiva de consumo da água.

Com o crescente interesse acadêmico e comercial em 2008 foi fundada a *Water Footprint Network* que realizou diversos estudos e disponibilizou em seu sítio online (<http://waterfootprint.org/>) uma calculadora de pegada hídrica bastante simples e intuitiva. Em 2009 foi publicada a primeira versão do Manual da pegada hídrica mostrando o “estado da arte” até o momento, e em 2011, foi lançado o “manual de avaliação da pegada hídrica” com as diretrizes para cálculos e metodologias a serem seguidas (Figura 2).

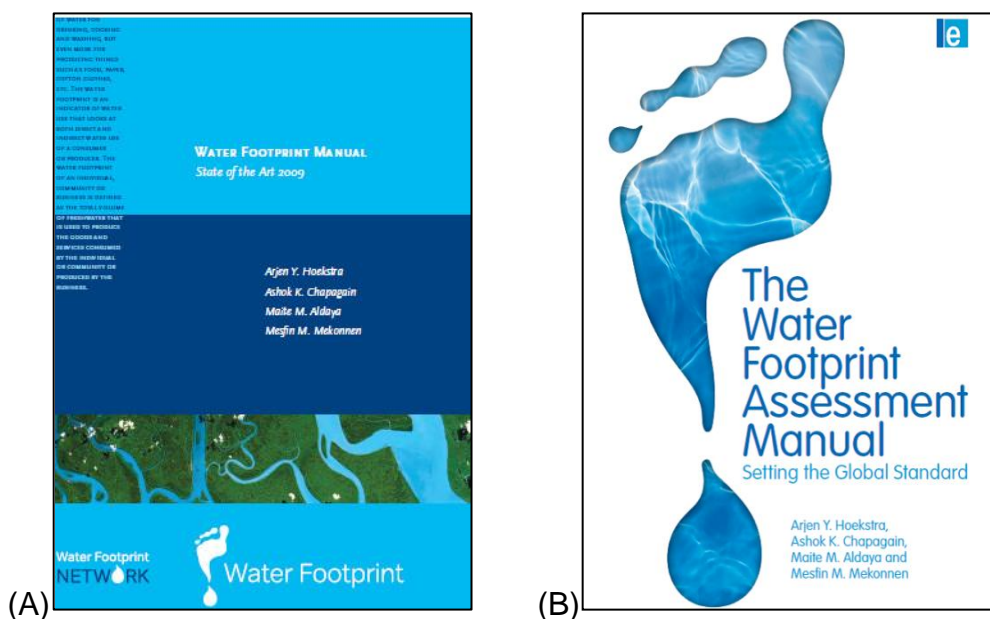


Figura 2 – (A) Capa “Manual da Pegada Hídrica: Estado da Arte 2009”, Hoekstra *et al.* (2009); (B) Capa “Manual de Avaliação da Pegada Hídrica: Estabelecendo o Padrão Global”, Hoekstra *et al.* (2011)

2.2 RECONHECIMENTO INTERNACIONAL

A metodologia tem ganhando espaço frente a outras metodologias e segundo Pina (2010) é a metodologia de quantificação do consumo de água com maior popularidade na comunidade científica e empresarial atualmente. Um dos fatores para isso é seu fácil entendimento pelas massas em geral se mostrando uma ferramenta de sensibilização em potencial (Kotsuka, 2013). Hoekstra (2006) e Seixas (2011) sugerem o acréscimo da informação sobre a pegada hídrica nos rótulos dos produtos e com isso incentivar a competitividade no mercado e conseqüentemente aprimorar o uso dos recursos hídricos de forma cada vez mais eficiente.

Algumas empresas que investem em questões ecológicas enxergaram essa metodologia como uma ferramenta de marketing com capacidade de melhorar a imagem da corporação. Grandes multinacionais são exemplos da aceitação da pegada hídrica como nova ferramenta na gestão hídrica dentro de suas cadeias produtivas (UNILEVER, 2009; NESTLÉ, 2009; PEPSICO'S, 2014).

Em 2014 foi lançada mais um documento de relevância internacional reconhecendo a pegada hídrica como ferramenta na gestão dos recursos hídricos, a ISO 14046 (ISO, 2014), contendo os princípios e diretrizes para a pegada hídrica de produtos, processos e organizações. Seguindo a família das ISO 14000, que estabelece as diretrizes voltadas à gestão ambiental nas empresas, se mostra como importante instrumento regulador nas políticas privadas dando ainda mais credibilidade à metodologia (Ferrer e Viegas, 2014).

A utilização da metodologia da pegada hídrica em políticas públicas é recomendada pela FAO e pela UNESCO e já vem sendo utilizada na gestão pública de alguns países. O caso mais notório é o da Espanha que se tornou o primeiro país da União Europeia a adotar a avaliação da pegada hídrica na formulação de políticas governamentais. Em setembro de 2008, o Ministério do Meio Ambiente da Espanha aprovou uma regulação que inclui a análise da pegada hídrica dos diferentes setores socioeconômicos como critério técnico

para a elaboração dos Planos de Gestão das Bacias Hidrográficas (Aldaya *et al.*, 2010; Ribeiro, 2014).

2.3 CONCEITO

O volume de água doce utilizada no processo produtivo, somada ao longo das várias fases em sua cadeia produtiva, é a base para o entendimento do conceito de pegada hídrica (Maracajá *et al.*, 2012). Para Leão (2013), a principal diferença frente à contabilização tradicional, é que o uso indireto da água também é considerado no cálculo. Outra vantagem é a pegada hídrica subdividir em três tipos principais de acordo com sua fonte e impacto: água azul, água verde e água cinza.

Como um indicador do “uso de água”, a pegada hídrica difere da medida clássica de “captação de água” em três aspectos (Figura 3):

1. Não inclui o uso da água azul, quando essa água é devolvida para onde veio.
2. Não está restrito ao uso da água azul, mas inclui também a água verde e cinza.
3. Não é restrito ao uso direto da água, mas inclui também seu uso indireto.

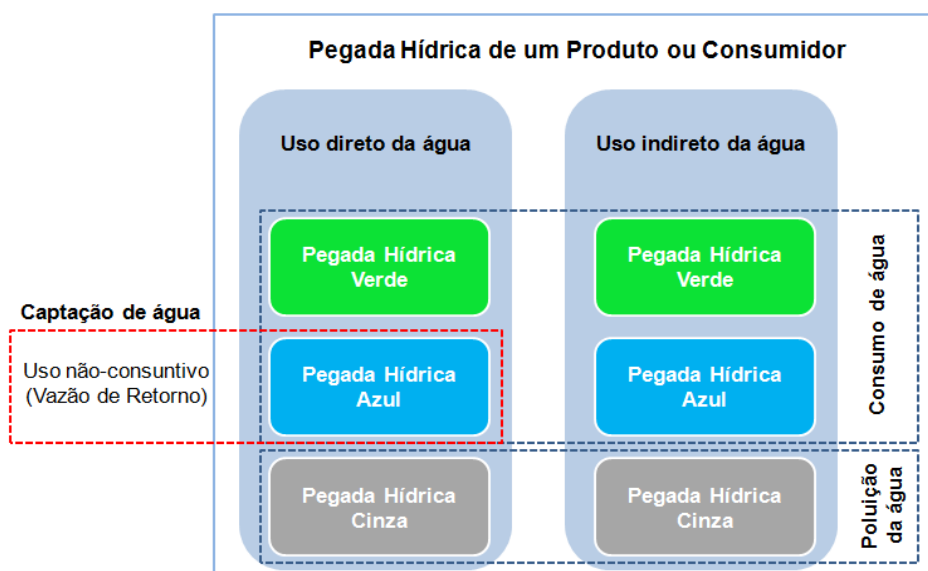


Figura 3 – Representação esquemática dos componentes da pegada hídrica. Fonte: Adaptado de Hoekstra *et al.* (2011)

O objetivo da quantificação das pegadas hídricas é analisar como atividades humanas ou produtos específicos impactam e se relacionam com questões de escassez e poluição hídrica e verificar formas de se tornar essas atividades mais sustentáveis sob o ponto de vista hídrico. A forma como uma avaliação de pegada hídrica será vista dependerá do foco de interesse.

A avaliação da pegada hídrica pode auxiliar na compreensão sobre como atividades e produtos que interagem com a escassez e a poluição da água e seus impactos relacionados e o que pode ser feito para assegurar que atividades e produtos não contribuam para o uso não sustentável dos recursos hídricos. Como ferramenta, a estimativa da pegada hídrica fornece uma visão diferenciada que ajuda a entender os gastos de água individualmente o que evidencia onde pode se melhorar a eficiência.

Ainda segundo o manual, é defendida a realização de uma avaliação completa de pegada hídrica com base em quatro fases distintas (Figura 4):



Figura 4 – As quatro fases na avaliação completa de uma pegada hídrica. Fonte: Hoekstra *et al.* (2011)

Primeiramente é necessário delimitar bem o estudo, todas as outras fases e, conseqüentemente, os resultados das análises dependem das definições iniciais. Em seguida, realizar a coleta de dados, quantificações e a contabilização da pegada. Após as fases iniciais, tem-se a fase de avaliação da sustentabilidade, na qual a pegada hídrica é avaliada de uma perspectiva ambiental, social e econômica. Na fase final, são formuladas opções de respostas, estratégias ou políticas.

2.4 INDICADOR AMBIENTAL

Como indicador, o método da pegada hídrica possibilita o monitoramento dos efeitos da escassez de água, podendo ser útil como ferramenta de avaliação na gestão hídrica.

Giacomin e Ohnuma (2012) consideram ser um indicador sobre a apropriação, uso e poluição do recurso de água doce em oposição ao padrão tradicional restrito apenas a quantificação extração da água por três motivos:

- i) Contabiliza a água de chuva e o volume de água poluído por efluentes e não apenas a captação de água superficial ou subterrânea;
- ii) Considera o uso da água também ao longo de toda cadeia produtiva;
- iii) Desconta a água que for retornada para o local de captação com boa qualidade.

Deve-se ainda, realizar uma análise dos impactos causados sendo eles avaliados de acordo com seu caráter primário ou secundário. Para impacto primário entende-se o comprometimento dos requisitos de fluxos ambientais e/ou dos padrões de qualidade dos ambientes aquáticos. Já os impactos secundários podem incluir ausência de água potável, perda de biodiversidade e de outros fatores ecológicos, econômicos, sociais e ambientais (Maracajá *et al.*, 2012).

2.4.1 SUSTENTABILIDADE E ESCALA DE USO

A sustentabilidade da pegada hídrica se baseia na apropriação da água de bens e serviços, integrando o uso da água e da poluição durante a cadeia produtiva, indicando a ligação entre o local e a época dessa produção. Isto é, em sua análise, não se deve considerar apenas o tamanho da pegada, mas sim o impacto que essa pegada causa a um determinado local, considerando suas características regionais (Maracajá *et al.*, 2012).

Por exemplo, uma pegada hídrica considerada grande não causa impacto numa área rica em recursos hídricos e pode ser considerada

sustentável, enquanto em uma área de estresse hídrico, a menor das pegadas já irá comprometer toda a sustentabilidade hídrica da região (Silva *et al.*, 2013).

Além dos fatores locais e temporais, leva em conta as características de cada região, seja em pequenas (pequenas bacias hidrográficas, cidades) ou grandes escalas (grandes bacias hidrográficas, estados, países), por isso a importância de que o estudo seja realizado com limites bem definidos (Maracajá *et al.*, 2012; Silva *et al.*, 2013). Isso remete à grande área de aplicação dessa metodologia, sendo possível ser desenvolvida para qualquer escala produtiva que vai desde um único produto, processo, setor, empresa, indivíduo, cidade, país e até mesmo global.

Quando insustentável, a pegada hídrica interfere em quantidade e qualidade e devem ser analisados os impactos em caráter primário, que afeta a vazão e qualidade na área e/ou secundário, ausência de água potável, impactos sociais, econômicos e na saúde, perda de biodiversidade e de outros fatores ecológicos (Maracajá *et al.*, 2012)

Os autores da metodologia reforçam a ideia de que os resultados encontrados pelo cálculo da pegada hídrica não devem ser comparados, uma vez que a água tem um forte componente local, ou seja, as análises desses valores devem estar exclusivamente relacionadas com a oferta hídrica da região produtora (Palhares, 2012).

2.5 FATORES QUE INFLUENCIAM NO VALOR DE UMA PEGADA HÍDRICA

Grandes populações obviamente fazem com que um país tenha consequentemente uma grande pegada hídrica, por isso, os criadores da metodologia defendem que é mais interessante observar a pegada hídrica *per capita* (Mekonnen e Hoekstra, 2011a).

Para Giacomini e Ohnuma (2012), existem quatro principais fatores de determinação de pegada hídrica em um país, são eles:

- O volume de consumo (em relação ao Produto Interno Bruto – PIB);
- O padrão de consumo (p.ex.: alto/baixo consumo de carne);

- As condições climáticas (condições para o crescimento das culturas agrícolas);
- Práticas agrícolas (uso eficiente da água).

Foi calculada a pegada hídrica média *per capita* de diversos países onde foi avaliado como média global o valor de $1385 \text{ m}^3 \text{ ano}^{-1}$ de consumo *per capita* no período de 1996 a 2005. Além disso, foi observado também que países industrializados tendiam a possuir pegada hídrica na faixa de $1250 - 2850 \text{ m}^3 \text{ ano}^{-1}$ *per capita*, enquanto a dos países em desenvolvimento variou entre $550 - 3800 \text{ m}^3 \text{ ano}^{-1}$ *per capita* (Figura 5).

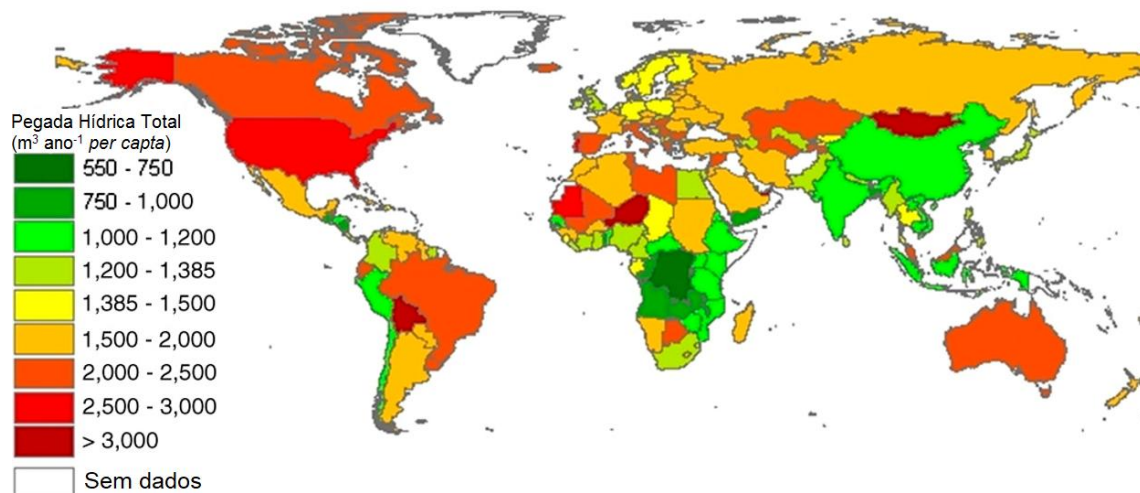


Figura 5 – Pegada hídrica média mundial ($\text{m}^3 \text{ ano}^{-1}$ *per capita*) no período de 1996 a 2005. Fonte: Hoekstra e Mekonnen (2012)

O que mais influencia no valor das pegadas hídricas são os tipos de dietas, Mekonnen e Hoekstra (2010) mostraram que a pegada hídrica de produtos de origem animal é maior que a pegada hídrica de um produto agrícola de valor nutricional equivalente. Em outra pesquisa mostraram que cerca de 27% da pegada hídrica da humanidade está relacionada com a fabricação de produtos de origem animal, enquanto apenas 4%, relacionava-se com o uso da água residencial (Mekonnen e Hoekstra, 2011b).

2.6 TIPOS DE PEGADA HÍDRICA

2.6.1 PEGADA HÍDRICA AZUL

Refere-se ao consumo de água doce superficial e/ou subterrânea e corresponde a um dos quatro casos seguintes:

- (i) Evaporação da água;
- (ii) Água incorporada ao produto;
- (iii) Não retorno da água para a área de captação (água retornada para outra área ou para o mar);
- (iv) Não retorno da água no mesmo período (água é retirada no período escasso e é retornada em período chuvoso).

Segundo estudos realizados por Hoekstra e Chapagain (2007), o setor responsável pelo maior consumo da água azul atualmente é a agricultura, que corresponde a cerca de 70% desse consumo, seguida pelo setor industrial que tem seu consumo girando em torno de 22%, e apenas 8% de todo o consumo é relativo ao uso doméstico.

Hoekstra e Mekonnen em 2012 calcularam o consumo médio *per capita* da água azul no mundo entre os anos de 1996 e 2005 e os resultados estão reunidos no mapa abaixo (Figura 6).

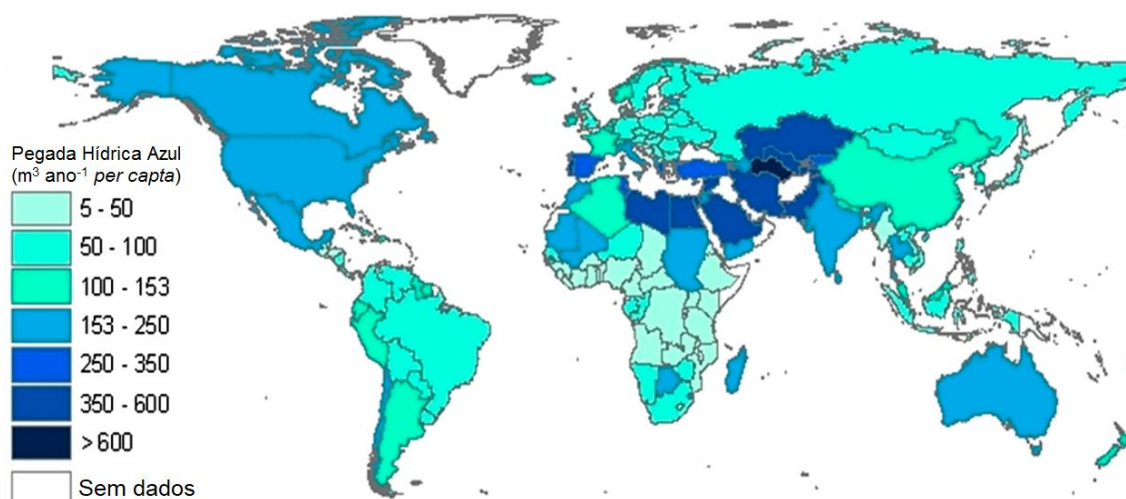


Figura 6 – Pegada hídrica média mundial na água azul (m³ ano⁻¹ per capita) no período de 1996 a 2005. Fonte: Hoekstra e Mekonnen (2012)

2.6.2 PEGADA HÍDRICA VERDE

É definida como a água oriunda de precipitações, consumida durante um processo de produção, que não é retirada nem armazenada em mananciais, mas sim armazenada temporariamente no solo ou na vegetação. Isto é particularmente relevante para os produtos agrícolas e florestais, correspondendo ao total de água da chuva que sofre evapotranspiração mais a água incorporada nos produtos agrícolas e florestais colhidos (Hoekstra *et al.*, 2011).

Hoekstra e Mekonnen em 2012 calcularam o consumo médio *per capita* da água verde no mundo entre os anos de 1996 e 2005 e os resultados estão reunidos no mapa abaixo (Figura 7).

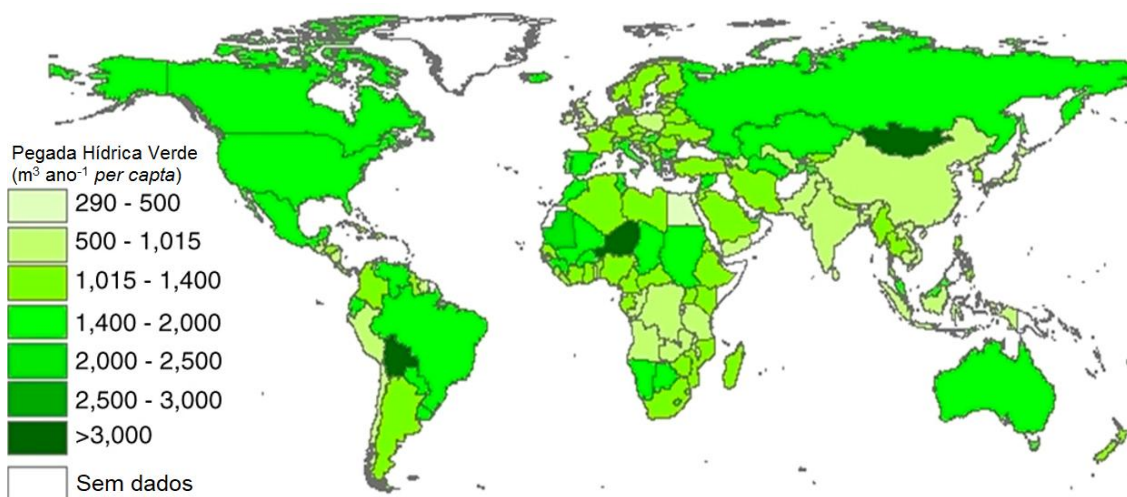


Figura 7 – Pegada hídrica média mundial na água verde (m³ ano⁻¹ per capita) no período de 1996 a 2005. Fonte: Hoekstra e Mekonnen (2012)

A diferenciação entre as águas azul e verde é de extrema importância devido aos impactos hidrológicos e socioambientais do uso da água superficial e subterrânea que interferem também nos custos de uma produção irrigada (Maracajá *et al.*, 2012).

2.6.3 PEGADA HÍDRICA CINZA

Indica o grau de poluição da água doce associada a um processo de produção e foi definida por Hoekstra *et al.* (2011) como o volume de água doce necessária para assimilar a carga de poluentes, tomando como base as concentrações naturais e padrões de qualidade de água existentes, que no caso do Brasil atualmente estão descritos na Resolução CONAMA nº 357/2005 e nº 430/2011, em relação aos padrões de lançamento de efluentes.

É calculada a partir da divisão da carga poluente pela diferença entre a concentração do padrão ambiental de qualidade da água para um determinado poluente e sua concentração natural no corpo d'água receptor.

Hoekstra e Mekonnen em 2012 realizaram esses cálculos para o consumo médio *per capta* da água cinza entre os anos de 1996 e 2005 e os resultados estão reunidos no mapa abaixo (Figura 8).

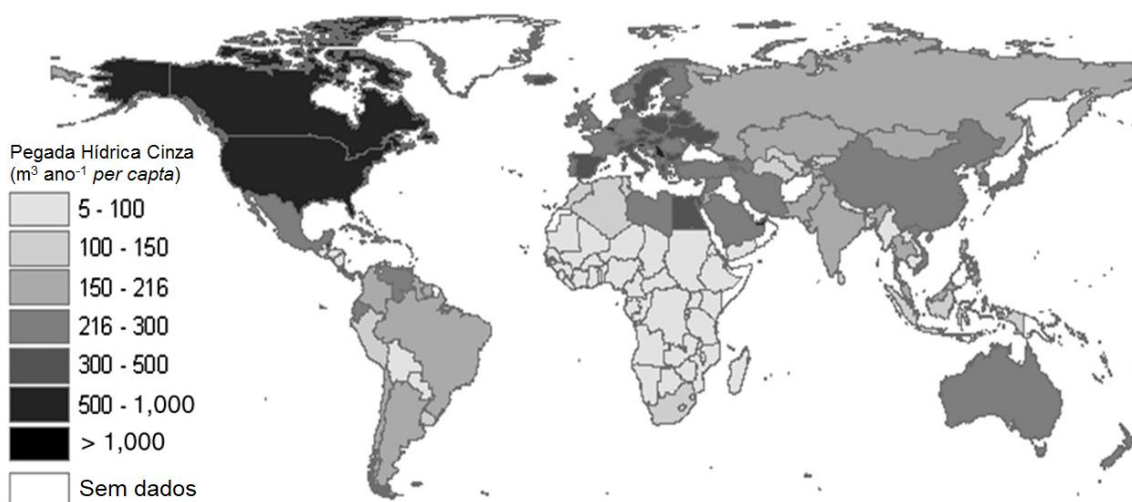


Figura 8 – Pegada hídrica média mundial na água cinza (m³ ano⁻¹ per capta) no período de 1996 a 2005. Fonte: Hoekstra e Mekonnen (2012)

Aqui é válido ressaltar que dentro do escopo da pegada hídrica, o termo água cinza é sempre assumido conforme explicado neste tópico, então é importante não confundir a água cinza desta metodologia com a definição de água cinza ou água negra comumente utilizada em trabalhos sobre saneamento (Gonçalves *et al.*, 2006).

2.6.4 PEGADA HÍDRICA DIRETA E INDIRETA

A pegada hídrica pode ser: direta, quando diz respeito ao consumo de água e ao nível de poluição gerado diretamente por uma atividade; e indireta, quando se refere ao consumo e ao nível de poluição associados aos processos produtivos. Apesar de as pegadas hídricas diretas serem os focos tradicionais dos consumidores e companhias, a pegada hídrica indireta é geralmente muito maior, porém muitas das vezes é negligenciada por ser “invisível” à primeira vista segundo Silva *et al.* (2013).

A maior parte das pegadas hídricas está associada aos produtos comprados em supermercados ou em outros lugares e não à água consumida na residência. Ignorar o componente indireto pode levar a investimentos menos efetivos de acordo com Hoekstra *et al.* (2011). Os autores afirmam ainda que se possa decidir incluir somente a pegada hídrica direta ou indireta na análise dependendo do propósito específico de um estudo.

2.6.5 PEGADA HÍDRICA INTERNA E EXTERNA

Só é válida para áreas bem delimitadas. A pegada hídrica interna está relacionada à utilização dos recursos hídricos de uma região para produzir bens e serviços que serão consumidos pela população local. Enquanto a pegada hídrica externa está relacionada à quantidade de recursos hídricos utilizados em outra área com vista à produção de bens e serviços que são consumidos, principalmente pela população externa, através das importações.

Chapagain e Hoekstra (2004) calcularam os saldos regionais de água virtual e seus fluxos entre as regiões do globo, relativas ao comércio de produtos agrícolas (Figura 9). Apenas os maiores fluxos líquidos (>10 bilhões de m³ ano⁻¹) são mostrados e foi considerado o período de 1997-2001.

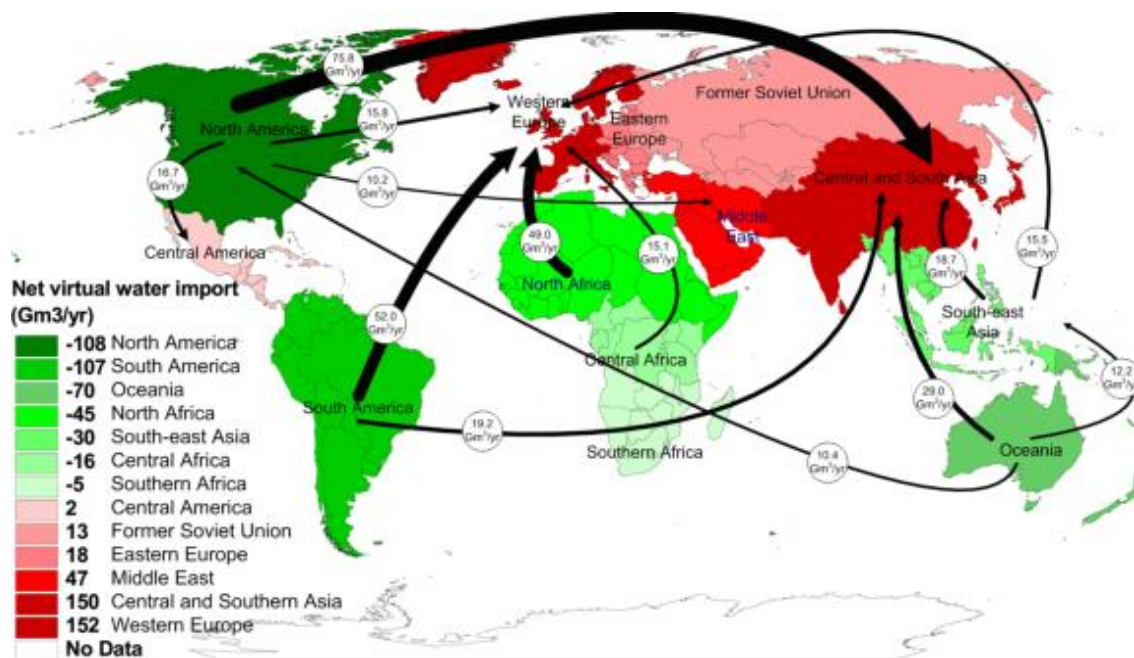


Figura 9 – Fluxo de importação da água virtual entre regiões pelo comércio de produtos agrícolas entre 1997 e 2001. Fonte: Hoekstra e Mekonnen (2012)

2.7 MEIOS DE REDUÇÃO

A primeira opção para que haja uma redução na pegada hídrica local é através da diminuição no consumo direto, porém esta seria uma medida mais paliativa do que definitiva.

O ideal é que exista uma mudança mais profunda como a utilização mais eficiente da água e a produção de produtos e serviços onde o clima é mais adequado para aquele fim. A partir desses dois pontos é possível a redução definitiva da dimensão da pegada hídrica e, conseqüentemente, de seu impacto, social e ambiental.

Hoekstra *et al.* (2011) enfatiza também outras maneiras para se reduzir a pegada hídrica. Uma dessas maneiras é a necessidade de conscientização geral para quebrar a ideia ultrapassada de que o consumo de água aumenta proporcionalmente ao crescimento econômico, principalmente em relação à produção agrícola. É possível adotar técnicas de produção que demandam menos água por unidade de produto e melhorar ainda mais a produtividade de água através de aplicação de técnicas de armazenamento e utilização de água da chuva para irrigação.

Outra maneira é reduzir padrões de consumo, como por exemplo, reduzir o consumo de carne. Provavelmente, uma ampla abordagem para esta questão seria necessária onde os padrões de consumo são influenciados pelo preço, aumento de consciência coletiva e individual, rotulagem de produtos ou outros incentivos. O custo da água não reflete nos preços dos produtos, além disso, os consumidores em sua maioria não fazem ideia da quantidade de água utilizada para se produzir bens e serviços. Também, deve ser considerado o uso da água azul e da água verde com “pesos” diferentes já que o uso da água azul afeta mais o meio ambiente do que o uso da água verde (Costa, 2014).

É relevante considerar a pegada hídrica interna contra a pegada hídrica externa de maneira mais abrangente. Como afirmado por Hoekstra *et al.* (2011), externalizar a pegada hídrica significa transferir os impactos ambientais para outro local.

2.8 LIMITAÇÕES E CRÍTICAS

A pegada hídrica se mostra uma metodologia interessante e promissora dentro do cenário de gerenciamento dos recursos hídricos mundial, mas apesar disso, foi desenvolvida recentemente o que gera incertezas.

Seus próprios criadores reconhecem isso e listaram no Manual de Avaliação da pegada hídrica (Hoekstra *et al.*, 2011), suas limitações inicialmente:

- A avaliação da pegada hídrica foca na análise do uso da água doce em função de sua natureza limitada; Portanto, não aborda outros temas ambientais, tais como as mudanças climáticas, a depleção dos recursos minerais, a fragmentação de habitats, a disponibilidade limitada de terra ou a degradação do solo, nem abrange temas sociais ou econômicos, tais como pobreza, emprego ou bem-estar.
- A avaliação da pegada hídrica aborda apenas questões da escassez e da poluição da água. Não envolvendo outras questões como inundações ou acesso inadequado à água limpa pelas comunidades, visto que esta não é uma questão ligada à escassez de água, mas sim à pobreza.

- A pegada hídrica refere-se à água doce e não ao uso e à poluição da água salgada. A avaliação da pegada hídrica limita-se apenas a considerar as atividades humanas que afetam a quantidade ou a qualidade da água doce de uma bacia hidrográfica (ou qualquer que seja a escala utilizada).
- As empresas vêm demonstrando cada vez mais interesse pelos possíveis “riscos relacionados à água”. Avaliar a pegada hídrica de uma empresa ajuda a compreender parte deste risco, já que ela mostra quais são os componentes insustentáveis da pegada hídrica da empresa; entretanto, a avaliação da pegada hídrica não é o mesmo que uma avaliação de risco total.
- Os governos têm grande responsabilidade sobre a governança dos recursos públicos. No campo do gerenciamento de recursos hídricos, a abordagem integrada é geralmente conhecida como “gestão integrada dos recursos hídricos” (GIRH) e, alternativamente, quando o foco está em uma bacia hidrográfica específica, é conhecida como “gestão integrada da bacia hidrográfica” (GIBH). A avaliação da pegada hídrica não substitui a GIRH nem a GIBH, mas deve ser considerada como uma ferramenta analítica que pode ajudar a expandir a base do conhecimento para ambas. A avaliação da pegada hídrica amplia o escopo tradicional da análise da escassez da água ao introduzir a cadeia produtiva e incluir as dimensões de escassez e de poluição da água no comércio internacional.

O aumento da publicidade em torno do método sem o devido cuidado de apresentar os resultados juntamente com explicações mais detalhadas também é um problema, pois pode acarretar interpretações erradas, gerando críticas e alardes desnecessários (Costa, 2014).

2.9 DESAFIOS FUTUROS

Há um grande número de questões práticas durante a avaliação de uma pegada hídrica. O manual publicado pelos criadores da metodologia contém

orientações suficientes para alguns casos, mas para outros é necessário o desenvolvimento adicional de diretrizes práticas. Segundo Hoekstra *et al.* (2011) é possível elencar os principais desafios futuros que a metodologia terá que enfrentar:

- **Falta de dados:** é importante e necessário o desenvolvimento de um banco de dados para se desenvolver diretrizes detalhadas e valores de referência de pegada hídrica que contemplem ampla variedade de processos e produtos, de acordo com as diferenças existentes entre cada região. Esse banco seria útil também para conscientização dos consumidores, que teriam acesso a informações padronizadas.
- **Truncamento de dados:** são necessárias mais experiências práticas com relação ao cálculo da pegada hídrica, pois, ao adotar um escopo muito amplo ou muito específico pode-se perder informações importantes que deveriam ser consideradas, como também se podem considerar componentes irrelevantes.
- **Variabilidade ao longo do tempo:** as alterações ocorridas na pegada hídrica de um ano para outro não podem simplesmente ser interpretadas como uma melhoria ou um agravamento estrutural no uso da água.
- **Uso de sensoriamento remoto:** apresenta-se como uma técnica interessante para estimar as pegadas hídricas verde e azul na agricultura, com o uso de sensores de alta resolução espacial e temporal. Porém, é necessário realizar mais pesquisas para validar essa abordagem e operacionalizá-la.
- **Definição clara dos critérios de sustentabilidade:** principalmente aqueles relativos à sustentabilidade econômica e social, além de investigar sobre impactos primários e secundários, que são dependentes dos tipos de impacto que foram incluídos ou excluídos na avaliação.
- **Incorporação em relatórios oficiais e reconhecimento político:** as estatísticas tradicionais sobre o uso da água negligenciam os usos indiretos da água assim como as águas verde e cinza. Isso mostra a

necessidade de começar a incorporar gradualmente dados como os da pegada hídrica nas estatísticas dos governos. No caso das empresas seria interessante a incorporação dos cálculos da pegada hídrica aos relatórios corporativos sobre meio ambiente e sustentabilidade.

- **Integração com as outras “pegadas”**: os diversos conceitos de “pegada” devem ser considerados como indicadores complementares do uso do capital natural em relação a consumo por parte do homem. Nenhum indicador pode ser substituído por outros indicadores, simplesmente porque cada um fornece informações diferentes e complementares. Um desafio para as pesquisas futuras é agrupar os diversos conceitos de pegadas e métodos relacionados em uma estrutura conceitual e analítica consistente.

2.10 OUTRAS METODOLOGIAS DE QUANTIFICAÇÃO

Avaliação do Ciclo de Vida (ACV) é uma ferramenta de gestão ambiental, que permite avaliar o impacto ambiental potencial associado a um produto, ou atividade, durante todo seu ciclo de vida. A metodologia consiste em uma técnica de gestão para a avaliação do desempenho ambiental de produtos, processos e serviços dentro de uma visão sistêmica sobre toda a cadeia desde a extração das matérias-primas até a disposição final do produto.

Esta ferramenta permite identificar quais estágios do ciclo de vida têm contribuição mais significativa para o impacto ambiental do processo. Sendo possível, através da aplicação da ACV avaliar a implementação de melhorias e alternativas para produtos, processos ou serviços (Kotsuka, 2013). Entretanto, não há uma abordagem padrão para o uso da água nesta metodologia, de maneira que, estes impactos recebem atenções limitadas nestas aplicações e são considerados de forma simplificada.

Em 2007, o Conselho Empresarial Mundial para o Desenvolvimento Sustentável (WBCSD) lançou a *Global Water Tool* que se trata de uma ferramenta de livre acesso e fácil utilização para empresas e organizações que

queiram mapear o seu uso de água e avaliar os riscos relativos às suas operações e cadeia produtiva.

É uma ferramenta que quantifica a água retirada e descartada diferenciando sua fonte (doce ou salgada). O método de cálculo consiste em subtrair a quantidade de água de descarga à quantidade de água consumida. Os resultados são indicadores da captação, reutilização e descarte da água, gráficos com informações de quantidades de instalações, trabalhadores e fornecedores para a empresa em diversas regiões e situações de disponibilidade hídrica (WBCSD, 2007; Corporate Water Accounting, 2010; Kotsuka, 2013).

Em adição, foram lançadas pela Iniciativa da Gestão Ambiental Global (GEMI) duas ferramentas: *Water Sustainability Planner* e *Water Sustainability Tools*. São ferramentas “online” que permitem aos administradores criarem estratégias relacionadas à água identificando riscos através do fornecimento de informações iniciais de identificação de impactos e efeitos sobre a qualidade dos corpos hídricos. Contudo, estas ferramentas não apresentam informações quantitativas. (Corporate Water Accounting, 2010; Kotsuka, 2013).

Na Tabela 1 é apresentado um comparativo das metodologias mais utilizadas de mensuração de uso da água.

Tabela 1 – Comparação entre as principais metodologias de quantificação de consumo de água. Fonte: Adaptado de Kotsuka (2013)

Metodologia	Pegada Hídrica	Avaliação do Ciclo de Vida (ACV)	WBCSD Global Water Tool	GEMI Water Sustainability Tools
Pontos Fortes	<ul style="list-style-type: none"> ➢ Boa ferramenta para fins de planejamento estratégico; ➢ De fácil entendimento para público não técnico; ➢ Avalia o uso da água. 	<ul style="list-style-type: none"> ➢ Adequada para avaliações ambientais; 	<ul style="list-style-type: none"> ➢ Baixo custo, rápido e não requer conhecimentos técnicos; ➢ Inventário simples para empresas compilarem seus dados de água. 	<ul style="list-style-type: none"> ➢ Baixo custo, rápido, não requer conhecimentos técnicos;
Pontos Fracos	<ul style="list-style-type: none"> ➢ Metodologia genérica; 	<ul style="list-style-type: none"> ➢ Os resultados são de difícil entendimento para público não técnico; 	<ul style="list-style-type: none"> ➢ Não aborda a qualidade da água; ➢ As avaliações fornecem apenas estimativas aproximadas de risco; 	<ul style="list-style-type: none"> ➢ Avaliação ineficiente de riscos relativos;
Utilização da água e impactos na qualidade	<ul style="list-style-type: none"> ➢ A distinção entre Pegada Hídrica Verde e Azul ilustra uma comparação geral e o tipo de impacto; ➢ Foca no principal poluente e calcula o volume teórico de água de diluição necessário para cumprir as normas reguladoras; 	<ul style="list-style-type: none"> ➢ Situa impactos de água dentro de um amplo entendimento; ➢ Utiliza medidas individuais de cargas de contaminantes ➢ Normalmente não quantifica o impacto para corpos receptores específicos locais 	<ul style="list-style-type: none"> ➢ Não caracteriza o uso da água ➢ Não avalia as questões de qualidade da água 	<ul style="list-style-type: none"> ➢ Fornece uma compilação de informações que podem ajudar a identificar os impactos, mas não quantificá-los; ➢ Fornece questões que ajudam as empresas a entender os seus efeitos sobre a qualidade dos corpos hídricos;
Transmissão de informação sobre a água	<ul style="list-style-type: none"> ➢ Ferramenta eficaz para sensibilização do público. 	<ul style="list-style-type: none"> ➢ Tem ampla utilização em empresas. 	<ul style="list-style-type: none"> ➢ Calcula automaticamente os indicadores relacionados à água. 	<ul style="list-style-type: none"> ➢ Não se destina a utilização como uma ferramenta de comunicação.

Dentre as metodologias apresentadas, a pegada hídrica pode ser considerada mais adequada para a utilização na gestão dos recursos hídricos, pois, apesar de algumas limitações, é um conceito eficaz por contemplar a utilização da água de chuva e a poluição gerada nos corpos hídricos, além de ser uma ferramenta com potencial de sensibilização do público (Kotsuka, 2013).

3 ANÁLISE BIBLIOMÉTRICA

Em todo trabalho científico é necessário que se realize pesquisas bibliográficas para se identificar os objetos e/ou cenários a serem estudados. Para isso é realizado um levantamento dos trabalhos mais relevantes sobre o assunto e comumente, em trabalhos mais completos, acompanhado de uma contextualização histórica sobre o assunto. Mas além da pesquisa bibliográfica, existe a pesquisa bibliométrica que difere da primeira por utilizar uma abordagem mais quantitativa do que discursiva (Nicholas e Richie, 1978).

Trata-se de uma técnica quantitativa e estatística que permite medir índices de produção e disseminação do conhecimento, acompanhar o desenvolvimento de diversas áreas científicas e os padrões de autoria, publicação e uso dos resultados de investigação (Okubo, 1997; Araújo, 2006; Lopes et al., 2012). Para Price (1976) é clara a importância de se avaliar a distribuição sobre o número de autores, trabalhos, países ou revistas relacionadas a cada categoria de produtividade, utilidade ou algum outro dado que seja relevante.

Os estudos bibliométricos são utilizados em diversas áreas do conhecimento, em especial para obter indicadores de produção científica. No Brasil, diversos estudos construíram os indicadores sobre a produtividade dos periódicos (QUALIS Capes). Não importando a área do conhecimento, estes estudos avaliaram determinados títulos e verificaram os indicadores bibliométricos de autores, apontando a tendência dos artigos publicados (Ferreira, 2010).

A bibliometria é utilizada mais constantemente nos estudos ligados às áreas da ciência de informação, mas pode ser empregada em qualquer área de conhecimento e gerar informações a fim de mapear seguimentos que estão saturados ou alguns ainda pouco explorados.

Tendo em vista que a pegada hídrica é uma linha de pesquisa recente (criada em 2002), é interessante que entendamos como é que essa ferramenta vem ganhando notoriedade através de dados das publicações sobre ela. Além de verificar o crescimento de sua utilização, é importante identificarmos as tendências sobre o assunto: tipos de trabalho, instituições, países e autores mais relevantes.

Para a realização desta análise bibliométrica foram contabilizados os dados das publicações num período de 2002 até 2016 em dois levantamentos distintos: um global e um nacional. No global foi tabulado os arquivos que continham o termo "*Water Footprint*" nas palavras-chave, abrangendo publicações de diversos países e diversas línguas; e no nacional, considerou-se apenas as publicações e que continham o termo "pegada hídrica" dentre as

palavras-chave, ponderadas a partir do local sede do autor, para avaliar a abordagem do tema dentro do país.

Foram consideradas publicações nas seguintes bases de dado: *Scholar Google*®, *Web of Science*®, *Scopus*® e *Scielo*®, além da *Water Footprint Network* (WFN), organização não governamental que desenvolve e divulga pesquisas dedicadas apenas a essa ferramenta. Os dados foram importados e tratados utilizando o *EndNote X6*®. Os resultados foram importados para o *Microsoft Excel*® onde foram desenvolvidos os gráficos e tabelas para melhor visualização dos resultados.

3.1 NO MUNDO

Após o tratamento dos dados e exclusão dos arquivos duplicados, foi encontrado um total de 1412 publicações, entre 2002 e 2016, que continham o termo “Water Footprint” em seu título, podendo ser considerados assim, trabalhos que abordam a metodologia como assunto principal do trabalho. A distribuição temporal dessas publicações esta representada na Figura 10 abaixo:

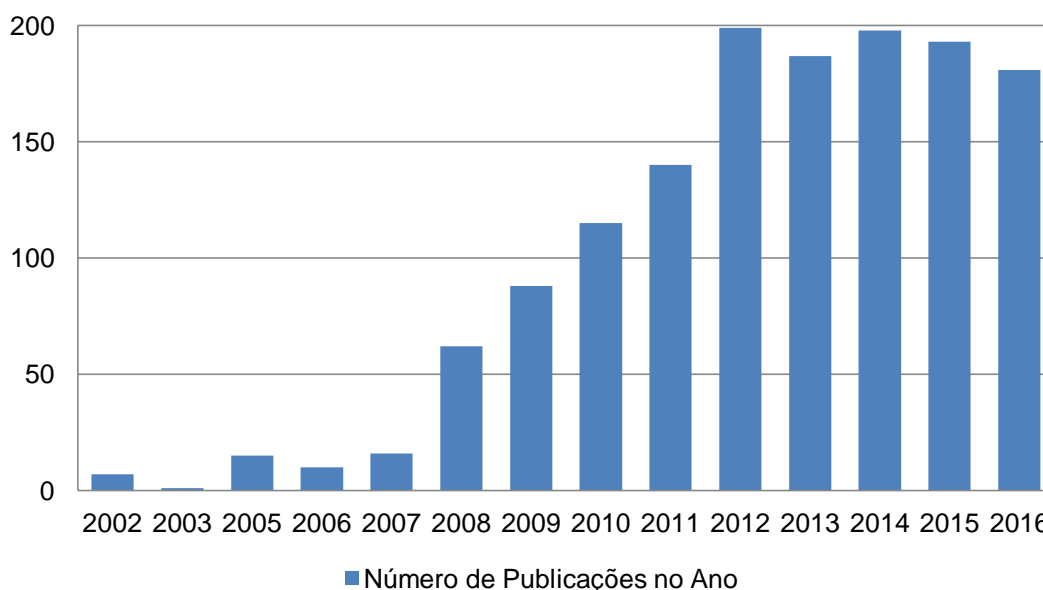


Figura 10 – Distribuição temporal do número de publicações que constam “Water Footprint” em seu título em todo mundo no período entre 2002 e 2016

Por ser uma metodologia recente, criada e apresentada em 2002, teve seu maior número de publicações no ano de 2012, onde foram contabilizados

199 trabalhos publicados. Esse número pode ser associado à publicação do “Manual de Avaliação da Pegada Hídrica: Estabelecendo o Padrão Global” no ano anterior, documento que reúne as diretrizes para aplicação do método e diversas particularidades que devem ser consideradas a partir do escopo do trabalho que será realizado.

Foram contabilizados também os principais pesquisadores sobre o assunto (aqueles com número de publicações igual ou superior a 15), que estão relacionados junto com sua instituição afiliada, país sede desta e o número de publicações em que o pesquisador foi o autor principal do trabalho (Tabela 2).

Tabela 2 – Relação dos principais autores sobre pegada hídrica no mundo por número de trabalhos publicados e suas respectivas afiliações (instituição e país sede)

AUTOR	INSTITUIÇÃO	SEDE DA INSTITUIÇÃO	PUBLICAÇÕES
Arjen Y. Hoekstra	University of Twente	Holanda	191
Mesfin M. Mekonnen	University of Twente	Holanda	82
Maite M. Aldaya	Technical University of Madrid	Espanha	67
Ashok K. Chapagain	University of the Free State	África do Sul	48
W. Gerbens-Leenes	University of the Netherlands Antilles	Curaçao	43
M. R. Llamas Madurga	Real Academia de Ciencias Exactas y Físicas	Espanha	36
Ertug Ercin	Water Footprint Network	Holanda	23
Alberto Garrido	National University of Comahue	Argentina	20
T. Van der Meer	University of Twente	Holanda	18
P. T. Wu	Northwest A&F University	China	15

Não foi surpresa, o fato de Arjen Hoekstra ser a maior autoridade da área com um número bastante expressivo de trabalhos publicados sobre o assunto tendo em vista que ele é o criador da metodologia. Vale ressaltar também que o principal polo deste assunto localiza-se na Holanda, mais especificamente na Universidade de Twente, local que abriga também a sede da *Water Footprint Network*. Hoekstra vem seguido por Mekonnen, Aldaya, Chapagain, Gerbens-Leenes e Llamas, todos nomes frequentes em pesquisas sobre pegada hídrica e também autoridades do tema, sendo comum encontrar publicações em que eles são co-autores.

Com relação aos tipos de publicação dos trabalhos que foram contabilizados, 74% são publicações em formato de artigos científicos e os

26% restantes estão distribuídos entre relatórios, livros ou seções de livros, revistas ou jornais não científicos, apresentação de trabalhos em conferências e trabalhos de conclusão de curso/título acadêmico (Figura 11).

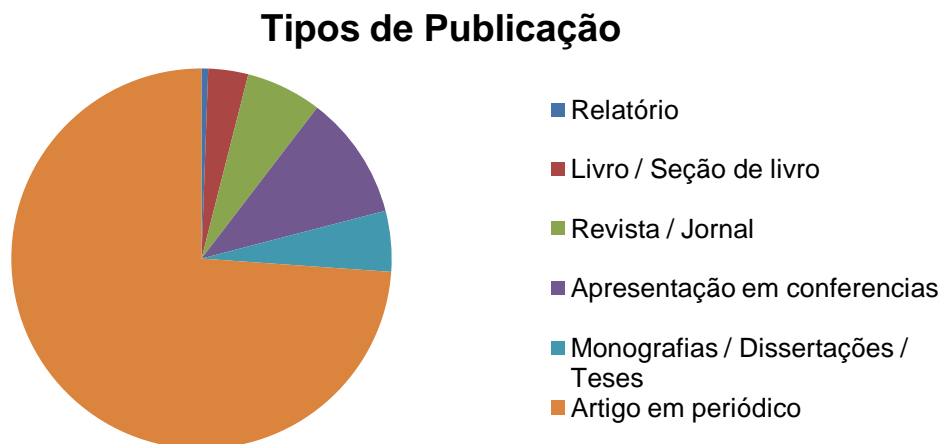


Figura 11 – Distribuição por tipo de publicação que constam “Water Footprint” em seu título em todo mundo no período entre 2002 e 2016

Dentro do nicho das publicações de artigos em periódicos foi possível identificar aqueles que foram os veículos utilizados maior número de vezes. Na tabela a seguir (Tabela 3) estão relacionados as principais revistas que tratam da pegada hídrica.

Tabela 3 – Principais periódicos com publicações sobre Pegada Hídrica no mundo ordenado pelo número de trabalhos

NOME DO PERIÓDICO	Nº DE TRABALHOS
Journal of Cleaner Production	45
Ecological Indicators	26
Acta Ecologica Sinica	14
Environmental Science & Technology	14
Hydrology and Earth System Sciences	14
Resources Science	14
Water resources management	14
Ecological Economics	12
Journal of Natural Resources	11
Science of the Total Environment	11
Proceedings of the National Academy of Sciences	9
Advanced Materials Research	6
China Population, Resources and Environment	6
Environmental Research Letters	6
Ecological Economy	5
The International Journal of Life Cycle Assessment	5

3.2 NO BRASIL

O país acompanha a tendência mundial de inovação e utilização dessa ferramenta que pode auxiliar na tomada de decisão. A metodologia da pegada hídrica demorou um pouco para chegar ao Brasil já que foi criada em 2002 e as primeiras publicações brasileiras sobre o assunto datam de 2010. Mas a partir daí, o número de publicações sobre o tema vêm crescendo a cada ano como se pode notar na Figura 12 que identifica essa tendência de crescimento a partir dos dados das publicações entre 2010 e 2016.

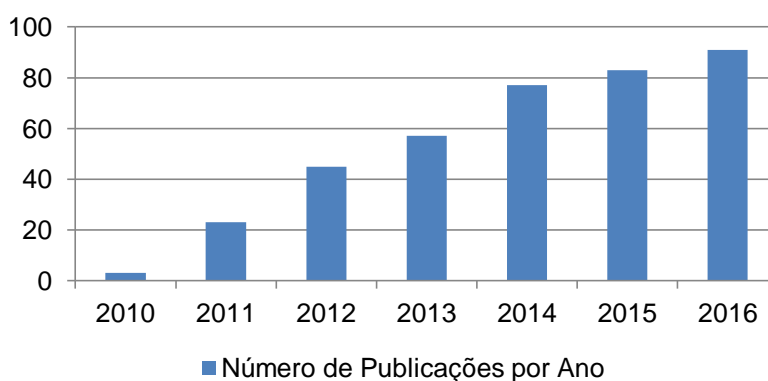


Figura 12 – Distribuição temporal do número de publicações brasileiras que apresentam a palavra chave “Pegada Hídrica” no período entre 2010 e 2016

Outro dado que chama a atenção é sobre o tipo de publicação destes trabalhos que pode ser visualizado na Figura 13:



Figura 13 – Distribuição por tipo de publicação dos trabalhos brasileiros que apresentam a palavra chave “Pegada Hídrica” no período entre 2010 e 2016

As principais fontes são registradas por artigos em periódicos, seguido por pesquisas acadêmicas (monografias, dissertações e teses). Isso demonstra como o reconhecimento científico e o interesse por essa ferramenta vem crescendo dentro das instituições de ensino e pesquisa do país. Em seguida, mas em uma fatia bem menor, aparecem as apresentações em conferências que também reforça esse interesse acadêmico pela pegada hídrica.

Os demais tipos identificados são publicações em revistas (magazine) e jornais não especializados, livros sobre o tema e, quem apresentou o menor índice foram os relatórios. Esse fato mostra que ainda não há no Brasil uma potencial exploração dessa metodologia como uma possível ferramenta de *marketing* como já é possível verificar em alguns outros países. Esse é um mercado que tende a ser utilizado e crescer na medida em que houver divulgação dos métodos e resultados que a avaliação da pegada hídrica pode trazer para as empresas.

Foi realizado o mapeamento dos estados em que as pesquisas foram realizadas (Figura 14), que apresenta os *hotspots* de pesquisa sobre a pegada hídrica dentro do território brasileiro. Os cinco estados que se destacam na produção científica nacional sobre a ferramenta são respectivamente São Paulo, Rio Grande do Sul, Paraíba, Paraná e Rio de Janeiro.

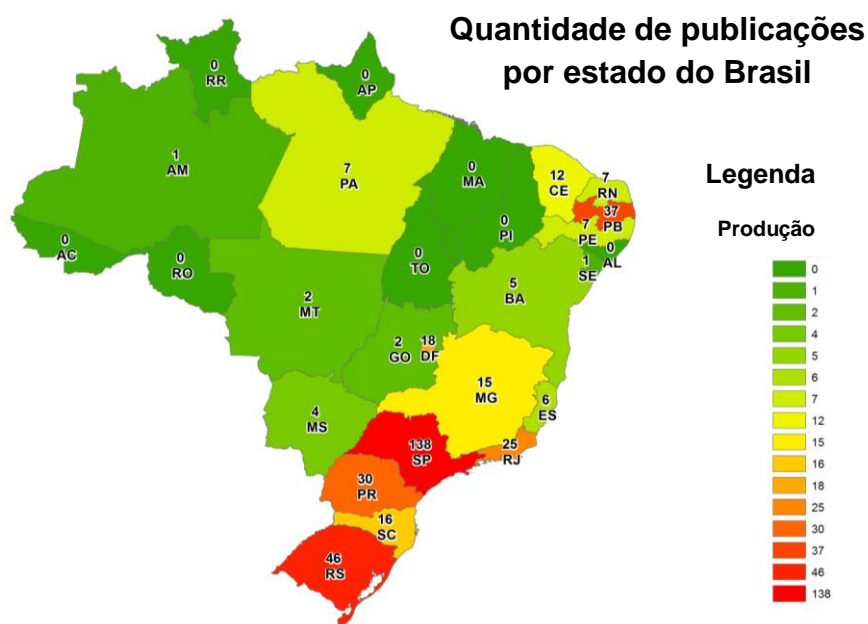


Figura 14 – Distribuição espacial das publicações nacionais a partir do local da sede institucional do autor

Além desse mapeamento, foram identificados os autores com maior número de publicações sobre o assunto (Tabela 4). Foram considerados relevantes para entrar nesse levantamento aqueles que tinham 5 (cinco) ou mais publicações sobre o tema como autores principais:

Tabela 4 – Relação dos principais autores brasileiros sobre pegada hídrica por número de trabalhos publicados e sua respectiva afiliação institucional

AUTOR	INSTITUIÇÃO	PUBLICAÇÕES
Júlio César Pascale Palhares	Embrapa Pecuária Sudeste	15
José Dantas Neto	Universidade Federal de Campina Grande	11
Vanessa Lucena Empinotti	Universidade Federal do ABC	9
Kettrin Farias Bem Maracajá	Universidade Federal do Rio Grande do Norte	8
Pedro Roberto Jacobi	Universidade de São Paulo	7
Vicente de Paulo R. da Silva	Universidade Federal de Campina Grande	7
George Scarpat Giacomini	Faculdade de Aracruz	6
Lincoln Eloi de Araújo	Universidade Federal da Paraíba	6
Geraldo Moura Baracuhny Neto	Universidade Federal de Campina Grande	5

4 PEGADA HÍDRICA NO BRASIL E SEU SETOR PECUÁRIO

O Brasil é um país de dimensões continentais e com maior disponibilidade hídrica no mundo, tendo cerca de 12% do total de água doce disponível no planeta (Gomes, 2011). Mas apesar dessa grande disponibilidade, ela é distribuída de forma heterogênea em sua área, tendo em vista que cerca de 70% dessa disponibilidade se encontram na região amazônica enquanto a região nordeste sofre tendo apenas 5% dela. Essa diferença acontece também no regime pluviométrico médio do país (Figura 15). Outro fator que influencia é a distribuição heterogênea, também da população, que buscam as regiões mais desenvolvidas como o sul e sudeste do país e esse acúmulo populacional pontual acaba aumentando a demanda por água, fazendo com que essas regiões entrem em colapso. Este colapso aponta duas principais causas: a região não suporta a demanda gerada por essa e essa superpopulação gera maior poluição, que sem tratamento adequado, acaba direto em nascentes, rios e reservatórios que poderiam auxiliar na demanda por água, o que torna o problema cíclico.

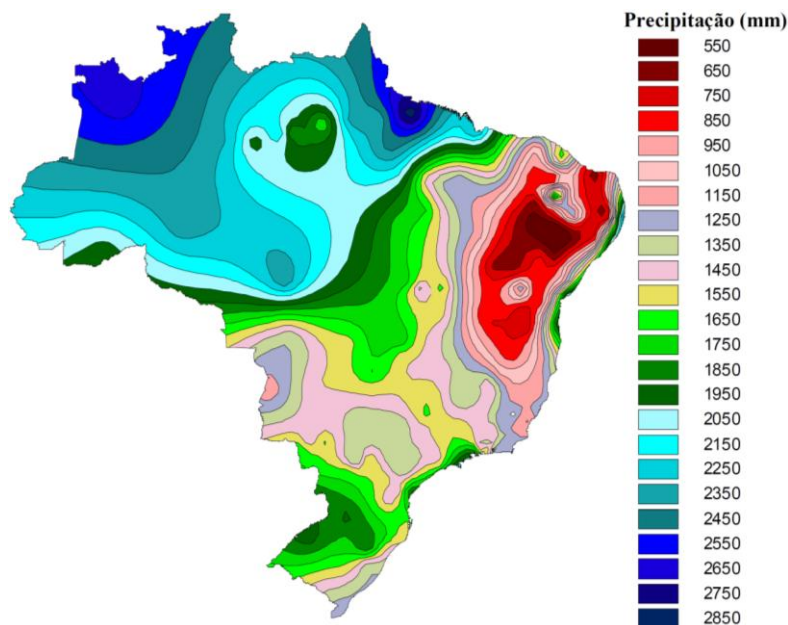


Figura 15 – Isoietas de precipitações médias anuais no País, entre 1961 e 1990. Fonte: ANA, (2007)

4.1 A RELAÇÃO DA AGROPECUÁRIA COM OS RECURSOS HÍDRICOS

A agropecuária é o setor que gera mais riqueza no Brasil, sendo responsável por mais de 20% do PIB do país. Grande parte das *commodities* da exportação brasileira vem da pecuária bovina com ampla criação de gado para corte. O Brasil é também um dos maiores produtores de carne bovina no cenário mundial (Contini *et al.*, 2012).

A pegada hídrica média mundial é de 1385 m³/hab/ano, sendo que a brasileira é de 2044 m³/hab/ano segundo estimativa oficial da *Water Footprint Network* (Mekonnen e Hoekstra, 2011b), desse total, 1619 m³/hab/ano (ou seja, 79%) em média, são referentes apenas ao consumo de produtos agropecuários segundo Silva *et al.* (2016). O autor expõe ainda que consumo de carne é o item que mais contribui para o valor da pegada hídrica nacional, somando cerca de 21% da pegada total do país.

Essa é uma visão muito geral da situação da pecuária, havendo a necessidade de se desenvolver formas mais eficientes de produção, utilizando a água de forma mais racional. Ridoutt e Huang (2012) levantaram a questão da “Relevância Ambiental” para que haja uma avaliação mais justa sobre este

impasse. Os autores defendem que mais importante que o valor da pegada hídrica é a sua avaliação, considerando todos os aspectos, disponibilidade, demanda da região. Defendem também a importância de diferenciar a pressão da pegada hídrica Azul e Verde, sendo que a primeira causa maior impacto do que a verde causaria quando utilizada em volumes idênticos.

A criação de gado no Brasil é beneficiada pelo do clima tropical com chuvas abundantes durante plantio dos pastos, que, em sua maioria, não utilizam irrigação. Ou seja, são utilizadas grandes quantidades da pegada hídrica verde no cultivo, enquanto a água azul é utilizada diretamente apenas para o consumo e higienização do gado e da carne posteriormente. Com isso, a pecuária brasileira apresenta a maior parte de sua pegada hídrica constituída de água verde e pequenos volumes de água azul e cinza, que são os que causam efetivamente mais impacto ao meio ambiente e qualidade dos recursos hídricos.

Existem ainda pontos relevantes sobre a pecuária a serem considerados e que interferem principalmente na manutenção dos recursos hídricos, como é o caso da compactação do solo por pisoteio, que pode reduzir a taxa de infiltração em mais de 70% (Miguel *et al.*, 2010). Além da compactação, o manejo quando mal feito, pode ocasionar a degradação da área, que por sua vez pode acarretar no arraste de sedimentos causando a erosão das áreas de pastagem e também o assoreamento, ou ate mesmo, a eutrofização de lagos e cursos d'água em alguns casos.

Um possível recurso seria a integração da metodologia da pegada hídrica com a Agricultura de Precisão, prática que busca identificar as variabilidades dos fatores produtivos e utiliza tecnologias como sensores eletrônicos, sistemas de posicionamento (GPS), entre outros, para monitorar e realizar um manejo mais eficiente (Bernardi e Perez, 2014).

5 CONSIDERAÇÕES FINAIS

A pegada hídrica preenche uma lacuna existente na forma atual com que majoritariamente é contabilizado o consumo de água. O fato dela

diferenciar as fontes, caracterizando sua forma de consumo é um dos maiores diferenciais e atrativos.

A revisão bibliométrica possibilitou uma visão quantitativa nas escalas espaço-temporal do tema ajudando a visualizar e mapear de forma mais nítida suas tendências. Pôde-se verificar o número de trabalhos que abordam a pegada hídrica vem aumentando a cada ano. Destacou-se a Holanda no cenário global da metodologia, onde a mesma surgiu e continua sendo trabalhada e melhorada enquanto no Brasil o destaque foi o estado de São Paulo.

O interesse acadêmico na ferramenta também é crescente com maior número de trabalhos tendo sido desenvolvidos por meio da publicação de artigos acadêmicos, onde o *Journal Of Cleaning Production* se destacou por ser o periódico que mais publicou trabalhos sobre o tema.

Apesar de ainda existirem deficiências, é necessário reconhecer que para uma metodologia com pouco mais de 15 anos desde a sua formulação. Seu reconhecimento e aplicação, tanto na esfera pública quanto na esfera privada, com um bom grau de aceitação, mostram como a pegada hídrica é uma metodologia que surgiu pra enriquecer todo tipo de avaliação que considere consumo de água doce.

6 REFERÊNCIAS

AGÊNCIA NACIONAL DE ÁGUAS - ANA. Disponibilidade de recursos hídricos no Brasil. **Caderno de Recursos Hídricos**. v 2. Brasília, DF, 2007.

ALDAYA, Maite M.; MARTÍNEZ-SANTOS, Pedro; LLAMAS, M. Ramón. Incorporating the water footprint and virtual water into policy: reflections from the Mancha Occidental Region, Spain. **Water Resources Management**, v. 24, n. 5, p. 941-958, 2010.

ALLAN, John Antony. Virtual water-the water, food, and trade nexus. useful concept or misleading metaphor?. **Water international**, v. 28, n. 1, p. 106-113, 2003.

ARAÚJO, Carlos Alberto de Ávila. Bibliometria: evolução histórica e questões atuais. **Em questão**, v. 12, n. 1, p. 11-32, 2006.

ARRUDA, Luiz Geraldo C. **Valorização das pegadas ambientais: a pegada ecológica, a pegada de carbono e a pegada d'água como indicadores de consumo na perda de valor do ecossistema modificado pelo homem.** Monografia, Universidade Federal de Minas Gerais, Belo Horizonte, 2010.

BERNARDI, Alberto Carlos de Campos et al. Agricultura de precisão em pastagens. In: **Agricultura de precisão: resultados de um novo olhar.** Brasília, DF: Embrapa Instrumentação-Livro técnico (INFOTECA-E), p. 492-499. 2014.

CARMO, Roberto Luiz do et al. Água virtual, escassez e gestão: o Brasil como grande "exportador" de água. **Ambiente & Sociedade.** v. 10, n. 2, p. 83-96. 2007.

CHAPAGAIN, Ashok; HOEKSTRA, Arjen Ysbert. **Water footprints of nations (Value of Water Research Report Series n. 16).** UNESCO-IHE Institute for Water Education: Delf, Holanda, n. 16. 2004.

CONTINI, Elisio et al. Exportações motor do agronegócio brasileiro. **Revista de Política Agrícola,** v. 21, n. 2, p. 88-102, 2012.

COSTA, Leonardo. **Contribuições para um modelo de gestão da água para a produção de bens e serviços a partir do conceito de pegada hídrica.** Dissertação (Mestrado em Ciências) - Escola politécnica da Universidade de São Paulo, São Paulo, 2014. 180 p.

FERREIRA, Ana Gabriela Clipes. Bibliometria na avaliação de periódicos científicos. **DataGramZero,** v. 11, n. 3, 2010.

FERRER, Montserrat; VIEGAS, Marcio. Huella hídrica: la nueva norma internacional ISO 14046:2014 y su implementación. **CONAMA - Congresso Nacional del Medio Ambiente,** Madrid, 2014.

GIACOMIN, George Scarpat.; OHNUMA JR, Alfredo Akira. Análise de resultados de pegada hídrica por países e produtos específicos. **Revista eletrônica em gestão, educação e tecnologia ambiental.** v.8, n.8, p.1562-1572. 2012.

GOMES, Marco Antônio Ferreira. **Água: sem ela seremos o planeta Marte de amanhã.** Embrapa Meio Ambiente, 2011.

GONÇALVES, Ricardo Franci *et al.* Caracterização e Tratamento de diferentes tipos de águas residuárias de origem residencial após segregação. **AIDIS-Asociación Interamericana de Ingeniería Sanitaria y Ambiental.** Sección, Uruguay. Rescatando Antiguos Principios para os Nuevos Desafíos Del Milenio. Montevideo, p. 1-10, 2006.

HOEKSTRA, Arjen Ysbert. The global dimension of water governance: nine reasons for global arrangements in order to cope with local water problems. **Value of Water Research Report Series n. 12**. UNESCO-IHE, Delf, Holanda, 2006.

HOEKSTRA, Arjen Ysbert; CHAPAGAIN, Ashok K. Water footprints of nations: water use by people as a function of their consumption pattern. **Water resources manage**, p. 35-48. 2007.

HOEKSTRA, Arjen Ysbert; CHAPAGAIN, Ashok K.; ALDAYA, Maite M.; MEKONNEN, Mesfin M. **The water footprint assessment manual: setting the global standard**. Londres: Earthscan, 2011. 80p.

HOEKSTRA, Arjen Ysbert; MEKONNEN, Mesfin M. The water footprint of humanity. **Proceedings of the national academy of sciences**, v. 109, n. 9, p. 3232-3237, 2012.

INTERNATIONAL ORGANIZATION FOR STANDARDIZATION. **ISO 14046: Environmental management – water footprint – principles, requirements and guidelines**. International Organization for Standardization, Geneva, Switzerland, 2014. 33p.

KOTSUKA, Luziadne Katiucia. **Avaliação dos conceitos de água virtual e pegada hídrica na gestão de recursos hídricos: estudo de caso da soja e óleo de soja**. Dissertação (Mestrado em Engenharia Ambiental) - Universidade Federal do Paraná, Curitiba, 2013. 144p.

LEAO, Renata de Souza. Pegada hídrica: visões e reflexões sobre sua aplicação. **Ambiente & Sustentabilidade**. v.16, n.4, p.159-162. 2013.

LOPES, Sílvia et al. A bibliometria e a avaliação da produção científica: indicadores e ferramentas. **In: Actas do congresso Nacional de bibliotecários, arquivistas e documentalistas**. 2012.

MARACAJÁ, Kettrin Farias Bem et al. Pegada hídrica como indicador de sustentabilidade ambiental. **REUNIR - Revista de administração, contabilidade e sustentabilidade**. v.2, n.2, p.113-125. 2012.

MEKONNEN, Mesfin M.; HOEKSTRA, Arjen Y. **The green, blue and grey water footprint of farm animals and animal products**. Delf: UNESCO-IHE Institute for water Education, 2010. 50p.

MEKONNEN, Mesfin M.; HOEKSTRA, Arjen Y. The green, blue and grey water footprint of crops and derived crop products. **Hydrology and Earth System Sciences**, v. 15, n. 5, p. 1577-1600, 2011a.

MEKONNEN, Mesfin M.; HOEKSTRA, Arjen Y. **National water footprint accounts: the green, blue and grey water footprint of production and consumption.** (Value of Water Research Report Series n. 50). UNESCO-IHE Institute for Water Education: Delf, Holanda, n. 50. 2011b.

MEKONNEN, Mesfin M.; HOEKSTRA, Arjen Y. A global assessment of the water footprint of farm animal products. **Ecosystems**, v. 15, n. 3, p. 401-415, 2012.

MIGUEL, Fernanda Ribeiro Marques; VIEIRA, Sidney Rosa; GREGO, Célia Regina. Variabilidade espacial da infiltração de água em solo sob pastagem em função da intensidade de pisoteio. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v. 44, n. 11, p. 1513-1519, 2010.

NETO, Armando Resende. **Sustentabilidade, água virtual e pegada hídrica: um estudo exploratório no setor bioenergético.** Dissertação (Mestrado em Engenharia de Produção) - Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, 2011.

NESTLÉ. **Creating shared value report**, 2009. Disponível em: <http://www.nestle.com/assetlibrary/Documents/Reports/CSV%20reports/Global%20report%202009/Global_report_2009_GB.pdf>. Acesso em: Abril de 2016.

NICHOLAS, David; RITCHIE, Maureen. **Literature and bibliometrics.** Londres: Clive Bingley, 1978.

OKUBO, Yoshiko. Bibliometric indicators and analysis of research systems: methods and examples. **OECD Science, Technology and Industry Working Papers**, 1997.

PALHARES, Julio Cesar Pascale. Pegada hídrica e a produção animal. **Agrotec: revista técnico-científica agrícola**. n. 3, p. 20-23. 2012.

PEPSICO'S WATER REPORT. Water stewardship: good for business. **Good for Society**, 2014. Disponível em: <<http://www.pepsico.com/purpose/environmental-sustainability.html>>. Acesso em Abril de 2016.

PINA, Leandro Adelcio Batista de. **Pegada de água associada à produção do vinho verde branco.** Dissertação (Mestrado em Engenharia do Ambiente) - Universidade de Aveiro, Aveiro 2010. 92p.

PRICE, Derek John de Solla. **O desenvolvimento da ciência: análise histórica, filosófica, sociológica e econômica.** Rio de Janeiro: Livros Técnicos e Científicos, 1976.

RIBEIRO, Carolina Silva. **Pegada hídrica e água virtual: estudo de caso da manga no submédio do Vale do São Francisco**. Dissertação (Mestrado em Economia) – Universidade Federal da Bahia, Salvador, 2014. 79p.

RIDOUTT, Bradley G.; HUANG, Jing. Environmental relevance — the key to understanding water footprints. **Proceedings of the National Academy of Sciences**, v. 109, n. 22, p. E1424-E1424, 2012.

SEIXAS, Vanessa Sofia de Carvalho. **Análise da pegada hídrica de um conjunto de produtos agrícolas**. Dissertação (Mestrado em Engenharia do Ambiente) - Universidade Nova de Lisboa, Lisboa, 2011. 110p.

SILVA, Vicente de Paula R. da et al. Uma medida de sustentabilidade ambiental: pegada hídrica. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**. v. 17, n. 1, p. 100-105. 2013.

SILVA, Vicente de Paula R. da. et al. Water footprint and virtual water trade of Brazil. **Water** 2016, v. 8, n. 11, p. 517, 2016.

United Nations Environment Programme - UNEP. **Corporate water accounting**. An analysis of methods and tools for measuring water use and its impacts, United Nations Environment Programme, United Nations Global Compact & Pacific Institute, 2010.

UNILEVER. **Sustainable agriculture water**, 2009. Disponível em: <http://www.unilever.com/images/sd_Unilever_and_Sustainable_Agriculture%20Water_tcm13-179363.pdf>. Acesso em Abril de 2016

WBCSD. **Global water tool, world business council for sustainable development**. Conches-Geneva, Suíça, 2007. Disponível em: <www.wbcd.org>. Acesso em: Setembro de 2016.

WORLD WATER COUNCIL. **E-conference synthesis: virtual water trade - conscious choices**. Marseille: World Water Council, WWC Publications, n. 2, 31 p., 2004.

CAPÍTULO 2

DETERMINAÇÃO DA DEMANDA HÍDRICA DA PRODUÇÃO DE LEITE NA PECUÁRIA EXTENSIVA POR MEIO DA PEGADA HÍDRICA

RESUMO

O objetivo deste capítulo foi estimar demanda hídrica do gado leiteiro para o sistema de criação extensivo. O experimento foi desenvolvido na fazenda experimental da Embrapa Gado de Leite, localizada em Coronel Pacheco – MG. Foi utilizado gado mestiço (Girolando) e três tipos de forrageiras *Panicum maximum* cv. Zuri, *Brachiaria decumbens* cv. Basilisk e *Panicum maximum* cv. BRS Quênia, instaladas em parcelas experimentais com quatro repetições espaciais cada, para analisar perda água, nutrientes por escoamento superficial e avaliar a produção vegetal de cada cultura para caracterização e comparação. Foram calculadas as águas verde e cinza para cada tipo de forrageira onde o capim Zuri se mostrou o mais eficiente e o Quênia, ambos *Panicum maximum*, demonstrou-se menos eficiente. Foi calculado um valor para água azul, uma vez que o gado utilizado no experimento foi o mesmo em todas as forrageiras e resultou no valor de 14 litros de água azul para produção de 1kg de leite. Foram calculadas três demandas hídricas totais e mais uma vez se identificou o *P. maximum* cv. Zuri como mais eficiente e o *P. maximum* cv. Quênia o menos eficiente. A demanda hídrica média dos três capins resultou em 1,393 m³ kg⁻¹ de leite, que é 11,6% maior do que a média mundial apontada pela literatura, confirmando que a produção no país ainda desperdiça muita água. É válido ressaltar ainda, que a água verde compôs 96% do valor total da demanda hídrica, a água cinza, 3% enquanto apenas 1% é água azul. O grande percentual de volume de água verde, por ser oriunda de precipitações, causa impacto menor do que causaria caso fosse de água azul.

Palavras-chave: Demanda Hídrica; Gado a pasto; Leite.

CHAPTER 2

DETERMINATION OF THE WATER DEMAND OF MILK PRODUCTION IN EXTENSIVE LIVESTOCK BY WATER FOOTPRINT

ABSTRACT

The objective of this chapter was to estimate the water demand of dairy cattle for the extensive breeding system. The experiment was carried out at the experimental farm of Embrapa Gado de Leite, located in Coronel Pacheco - MG. It was used crossbred cattle (Girolando) and three types of forage *Panicum maximum* cv. Zuri, *Brachiaria decumbens* cv. Basilisk and *Panicum maximum* cv. BRS Quenia, installed in experimental plots with four spatial replicates each, to analyze water loss, nutrients by runoff and to evaluate the crop production of each crop for characterization and comparison. Green and gray water were calculated for each type of forage where Zuri grass proved the most efficient and Quenia, both *Panicum maximum*, was less efficient. A value was calculated for blue water, since the cattle used in the experiment was the same in all forages and resulted in the value of 14 liters of blue water for the production of 1kg of milk. Three total water demands were calculated and once again *P. maximum* cv. Zuri as more efficient and *P. maximum* cv. Quenia the least efficient. The average water demand of the three grasses resulted in 1,393 m³ kg⁻¹ of milk, which is 11.6% higher than the world average indicated in the literature, confirming that production in the country still wastes a lot of water. It is worth mentioning that green water made up 96% of the total water demand, gray water, 3% while only 1% is blue water. The large percentage of green water volume, because it comes from precipitation, causes less impact than it would have if it were of blue water.

Keywords: Water Demand; Grazing Cattle; Milk.

1 INTRODUÇÃO

O Brasil sempre se destacou no cenário global como um dos cinco maiores produtores de leite do mundo (USDA, 2015). Segundo o Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento, estima-se que de 2012 a 2023 a produção de leite apresentará uma taxa anual de crescimento de 1,9% (Brasil, 2013; Brasil, 2014). Dentro do panorama brasileiro, o estado de Minas Gerais se destaca como o maior produtor de leite, sendo responsável por quase 30% de toda a produção nacional (Santos *et al.*, 2017). Segundo a Agência Nacional da Água (2012) de toda a água retirada de mananciais, 72% é utilizada para a irrigação e 11% para consumo animal.

A indústria leiteira demanda grandes quantidades de água durante a produção e processamento da matéria-prima, mas para que haja controle e manejo eficientes é necessário primeiramente que se saiba quanto de água é efetivamente gasto.

Para isso, em 2002 surgiu a metodologia da pegada hídrica, seu cálculo refere-se ao volume de água consumida durante a produção e consumo de bens e serviços (Zugman e Palhares, 2015). O grande diferencial dessa ferramenta é o fato de dividir o consumo de água segundo sua fonte e uso. O volume é dividido em três tipos de água: verde, azul e cinza (Silva *et al.*, 2013). A partir desse mapeamento do consumo é possível identificar quais processos demandam mais água e, a partir dessa informação, buscar formas mais eficientes de produzir, em relação ao consumo hídrico (Seixas, 2011).

Em 2012, Hoekstra e Mekonnen (2012), calcularam a pegada hídrica da humanidade e identificaram que cerca de 7% do total é relativo à produção e consumo produtos derivados do leite. Os autores ainda ressaltam que a pegada hídrica de produtos de origem animal é superior a de produtos de origem vegetal com valor nutricional equivalente e que a pegada hídrica por grama de proteína de leite é 1,5 maior do que para vegetais. Ainda sob este mesmo foco, foi estimado, numa média ponderada mundial, que para a produção de 1 litro de leite no sistema extensivo, são necessários cerca de

1000 litros de água (Riley, 2009; Drasting *et al.*, 2010; Ridoutt *et al.*, 2010; Mekonnen e Hoekstra, 2012; Huang *et al.*, 2014).

O Brasil tem 85% dos estabelecimentos rurais regidos pela agricultura familiar, que por sua vez, são responsáveis por 58% da produção de leite do país (Maia *et al.* 2013). Esses estabelecimentos são mantidos com base na agricultura extensiva das pastagens e pouca ou nenhuma tecnologia (Zoccal, Souza e Gomes, 2005).

Pode-se encontrar na literatura vários trabalhos relacionados ao cálculo da pegada hídrica, mas por se tratar de uma metodologia relativamente nova, ainda se verifica escassez de pesquisas particularmente na área de produção leiteira e, assim diversos autores mencionaram a necessidade de mais pesquisas, a fim de considerar as particularidades locais e das diferentes formas de produção, tipos de capim e de gado utilizados (Ridoutt e Pfister, 2010; Willers *et al.*, 2014; Manzardo *et al.*, 2014; Palhares e Pezzopane, 2015).

2 OBJETIVOS

O objetivo principal deste capítulo foi estimar a demanda hídrica da produção de leite, da pecuária extensiva, utilizando esta metodologia como indicador de consumo de água. Para alcançar o objetivo principal foram traçadas as seguintes metas:

- Calcular as demandas de água verde para cada tipo de forrageira do experimento;
- Calcular a demanda de água azul para o gado de leite na pecuária extensiva;
- Definir qual parâmetro químico de qualidade de água, do escoamento superficial, necessitava de maior volume de água para assimilação da carga poluente;
- Calcular a demanda hídrica total para o sistema de produção extensivo de leite;

- Determinar a demanda hídrica média da produção extensiva de leite por quilograma do produto.

3 MATERIAL E MÉTODOS

3.1 ÁREA DE ESTUDO

O experimento para o cálculo da demanda hídrica, foi desenvolvido entre Janeiro de 2017 a Junho de 2017 em uma área conhecida como Jaguará no Campo Experimental da Embrapa Gado de Leite, na cidade de Coronel Pacheco/MG/Brasil (23°35'16" de latitude sul e 43°15'56" de longitude oeste) em Latossolo Vermelho Amarelo distrófico (EMBRAPA, 2013), relevo ondulado a forte ondulado com declividade variando de 22 - 32% (Figura 16). O clima da região é do tipo Cwa (mesotérmico), de acordo com a classificação de Köppen, vigorando duas estações: seca (abril a setembro), com precipitação média mensal de 60 mm e temperatura média de 17°C, e chuvosa (outubro a março) com precipitação média mensal de 230 mm e temperatura média de 24°C (Silva *et al.*, 2011; Carvalho, 2012).

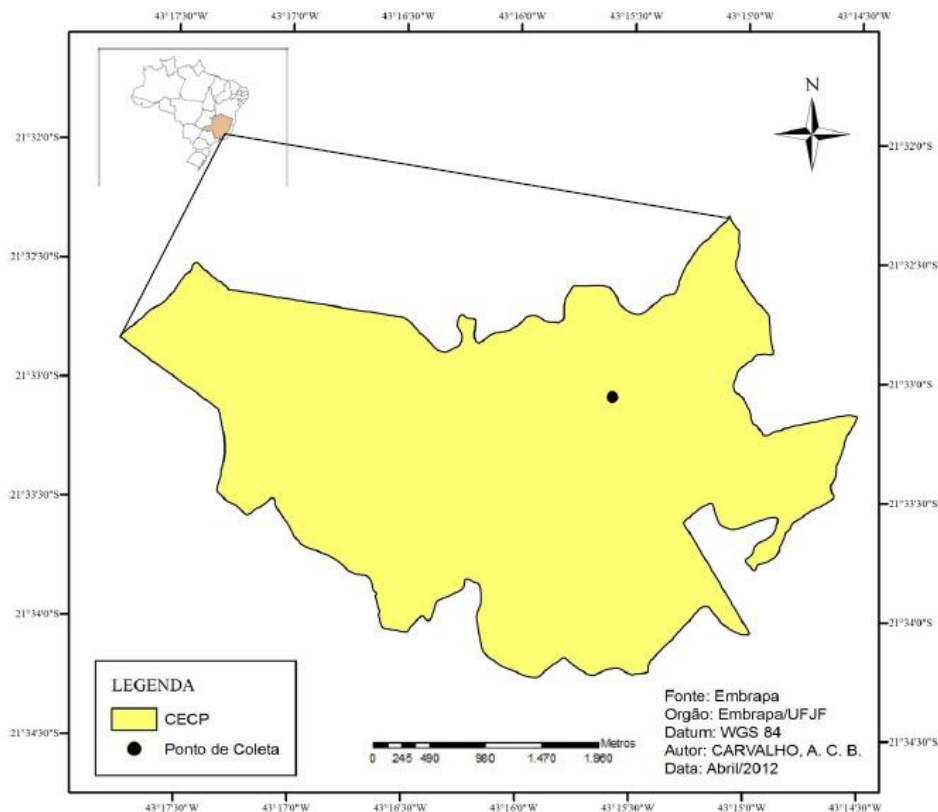


Figura 16 - Localização e área de avaliação e do Campo Experimental da Embrapa Gado de Leite em Coronel Pacheco – CECF. Adaptado de Carvalho (2012)

3.2 PARCELAS EXPERIMENTAIS

Foram instaladas parcelas experimentais para realização das análises *in loco*, nas quais foram medidos: o escoamento superficial, a perda de solo e parâmetros de qualidade de água (pH, oxigênio dissolvido, DQO, Carbono Organico Total, DBO 5,20, Fósforo total, Nitrogênio total e Potássio) para estimar a poluição difusa advinda das atividades de produção de leite da pecuária extensiva.

As parcelas experimentais, separadas por chapas de aço galvanizado 0,50 – 400 mm, apresentavam dimensionamento de 2 X 10 m, perfazendo um área de 20 m² cada (Figura 17). Foram instaladas no sentido da declividade, com 15 cm para dentro do solo e 25 cm para fora. As parcelas possuíam um formato retangular e na parte inferior havia um aparato para conduzir a água e o solo provenientes do escoamento superficial das parcelas para um tubo de PVC com diâmetro de 100 mm e 50 cm de comprimento para conduzir o escoamento superficial até as caixas de polietileno, com capacidade de 1000L.

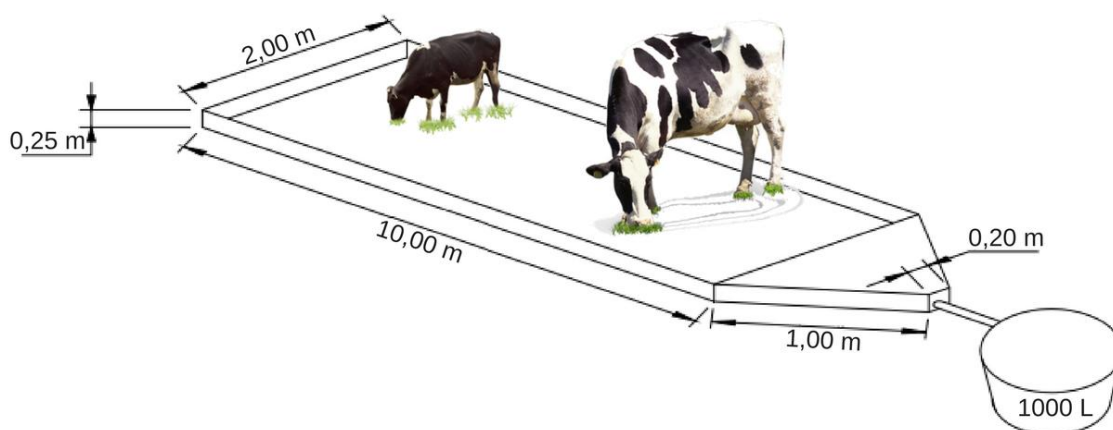


Figura 17 - Esquema da parcela experimental. Adaptado de Carvalho (2012)

Foram avaliados três tipos de forrageira (Figura 18): *Panicum maximum* cv. Zuri, *Brachiaria decumbens* cv. Basilisk e *Panicum maximum* cv. BRS Quênia e, em cada um, foram instaladas quatro parcelas experimentais para o monitoramento da quantidade e qualidade do escoamento superficial e das perdas de solo sob condições de chuva natural, que foi monitorada pela

estação meteorológica do Instituto Nacional de Meteorologia – INMET, localizada dentro dos limites do campo experimental.

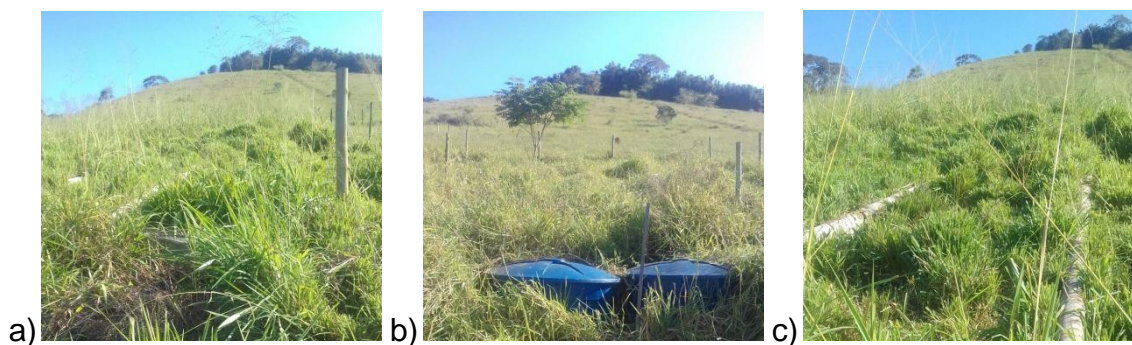


Figura 18 – Demonstração dos tipos de forrageiras sendo: a) *Panicum maximum* cv. Zuri; b) *Brachiaria decumbens* cv. Basilisk e; c) *Panicum maximum* cv. BRS Quênia

A distribuição espacial das parcelas pelo terreno foi dividida em três zonas diferenciadas pelo tipo de forrageira instalada e esse zoneamento esta ilustrado na Figura 19. Foram distribuídas 12 parcelas ao todo, 4 em cada tipo de capim.

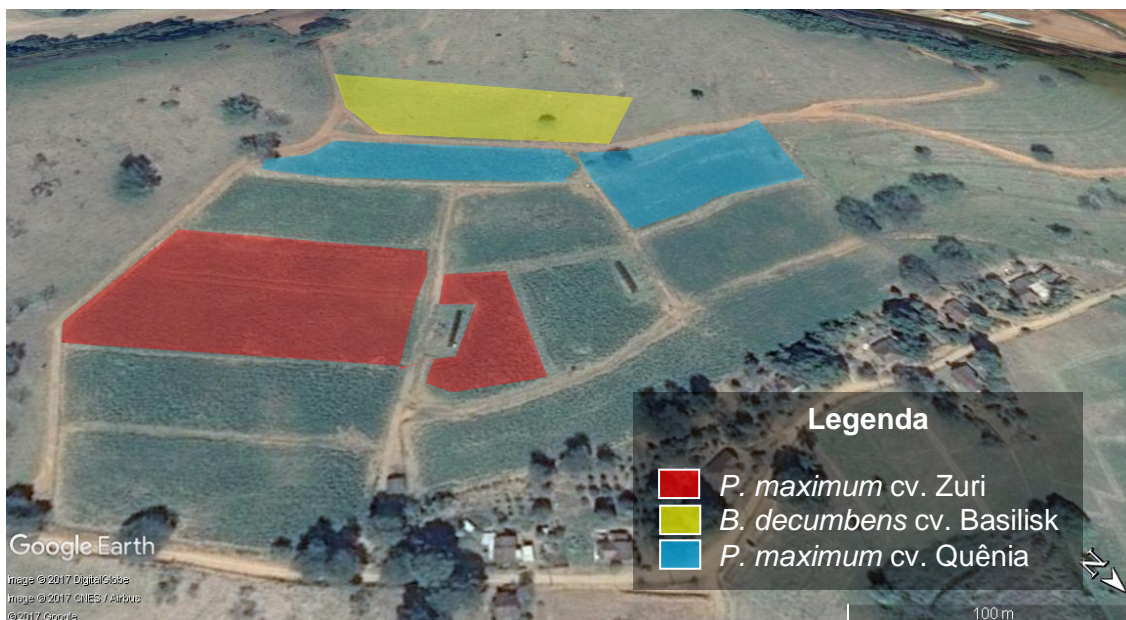


Figura 19 - Distribuição dos setores na Jaguará, Campo Experimental da Embrapa Gado de Leite em Coronel Pacheco. (Lat.: 21°33'1.74"S Long.: 43°15'31.11"O). Fonte: Adaptado de Google Earth Pro

3.3 COLETAS E ANÁLISES QUÍMICAS DA ÁGUA

Nas coletas dos experimentos de campo, realizadas nas datas 11/01, 17/01, 08/02, 20/03, 10/04 e 23/05 do ano de 2017. Em cada parcela, o volume

de água foi contabilizado e em seguida foram retiradas amostras da água que foram enviadas para o CSL Laboratório de Análises Ambientais, situado no município de Americana-SP, para determinação da condutividade, DQO, Carbono Organico Total, DBO, Fósforo total, Nitrogênio total e Potássio.

3.4 CÁLCULO DAS DEMANDA HÍDRICAS

Foram mensuradas as demandas de água utilizando uma adaptação do método da pegada hídrica, proposto por Hoekstra *et al.* (2011). Os cálculos são referentes exclusivamente ao sistema de produção a pasto, considerando somente precipitação natural e estimados os valores de água verde, azul e cinza.

3.4.1 ÁGUA VERDE

Seu cálculo se deu pela mensuração da evapotranspiração da cultura, considerando seu coeficiente (K_c) e a evapotranspiração na região do cálculo, somado a quantidade de água no produto. Seu cálculo é apresentado pela Equação 1.

$$AV = \sum_{p=1}^n \text{Evapo. da Cult.} + \sum_{p=1}^n \text{Prod. Cult.} * Ap \quad (1)$$

Onde:

AV - Água Verde

Evapo. da Cult. – Evapotranspiração da Cultura = $ET_c = ET_o * K_c$ para cada forrageira (m^3).

Prod. Cult. – Produção vegetal da cultura (kg de matéria natural).

Ap – Teor de água da forrageira (%).

Foram realizados três cálculos para água verde, um para cada tipo de capim, onde se utilizou o valor de 11981,125 m³ há⁻¹ ano⁻¹ para a evapotranspiração referência (ET_o) calculada pelo software REF-ET (Allen, 2000). Neste cálculo foram utilizados dados da estação meteorológica do INMET, localizada dentro da própria área da fazenda da Embrapa, segundo Penman-Monteith (Allen *et al.*, 1998) e os coeficientes médios de cada cultura (K_c), encontrados na literatura que foram: 0,7985715, para o *P. maximum* cv. Zuri; 1,0141665, para a *B. decumbens* cv. Basilisk; e 1,0300000 para o *P. maximum* cv. BRS Quênia (Albuquerque *et al.*, 2011; Carvalho *et al.*, 2015; Neto *et al.*, 2003; Sanches *et al.*, 2017; Rodrigues *et al.*, 2011; Voltolini *et al.* 2011).

3.4.2 ÁGUA AZUL

Como as culturas não foram irrigadas, para o cálculo da água azul, foram considerados apenas os seguintes consumos: dessedentação de animais e quantidade de água no produto (Equação 2).

$$AZ = (Cd * UA) + (Prod.Leite * T_{H_2O}) \quad (2)$$

Onde:

AZ - Água Azul

Cd – Consumo de água de dessedentação (m³).

Prod. Leite – Produção de leite (m³).

T_{H₂O} – Teor de água no produto (%).

UA - Unidade Animal = 450kg (Barcellos *et al.*, 2008).

Os animais utilizados no experimento eram de gado mestiço, Girolando de grau sangue 3/4 e 1/2. Era feita a rotação de piquetes onde se utilizavam 6 unidades animais (UA), considerando 1 UA = 450kg (Barcellos *et al.*, 2008), por hectare. O consumo de água de dessedentação foi utilizado uma média de 51 L dia⁻¹ animal⁻¹ (Palhares, 2013). A produção de leite média das vacas

utilizadas no experimento foi de 11,15 L dia⁻¹, considerando um período de lactação por ano que durou em média 130 dias. O percentual de água no leite considerado foi de 87% (NEPA, 2011).

3.4.3 ÁGUA CINZA

A água cinza é caracterizada pela quantidade de água necessária para diluir uma carga poluidora até o padrão aceito pela legislação. Essa informação tem grande importância considerando o grande potencial da atividade agropecuária como fonte de poluição difusa. Seu cálculo se deu pela Equação 3.

$$AC = \frac{C_{\text{eflu}} \times \text{Vol. eflu}}{C_{\text{max}}} \quad (3)$$

Onde:

AC - Água Cinza

C_{eflu} - Concentração média de nitrogênio ou fósforo no efluente (mg L⁻¹).

Vol. eflu - Volume do efluente (m³ ano⁻¹).

C_{max} - concentração máxima permitida do elemento (Resolução Conama nº 357).

Foram utilizados as médias dos valores amostrados por tipo de capim (Apêndice 1), considerando o elemento fósforo. Vale destacar que este parâmetro (fósforo) foi escolhido, pois ele demandava maior volume de água para assimilação da carga poluidora (Tabela 7), portanto C_{eflu} foi de 0,346 mg L⁻¹ para o Zuri, 0,392 mg L⁻¹ para a braquiária e 0,270 mg L⁻¹ para o Quênia. Como valor máximo permitido (C_{max}) foi assumido 0,1 mg L⁻¹ segundo a Resolução Conama nº 357 para cursos d'água classe II (Brasil, 2005).

4 RESULTADOS E DISCUSSÃO

Os valores encontrados para as demandas de água verde por forrageira são apresentados na Tabela 5 e estão indicados em três unidades: por UA, por hectare e por kg de leite (densidade do leite é de 1,032 kg L⁻¹, segundo Prata *et al.* (1998), para facilitar a análise nessas que foram consideradas as unidades mais relevantes para este trabalho.

Tabela 5 – Volume de água verde demandado anualmente pelo sistema de produção de leite a pasto por tipo de forrageira

Tipo de Forrageira	Demanda por UA (m ³ ano ⁻¹)	Demanda por hectare (m ³ ano ⁻¹)	Demanda por kg de leite (m ³)
<i>P. maximum cv. Zuri</i>	1595,963	9575,778	1,136
<i>Brachiaria decumbens cv. Basilisk</i>	2026,477	12158,864	1,443
<i>P. maximum cv. BRS Quênia</i>	2058,794	12352,762	1,466

Diferentemente da água verde, as demanda de água azul resultou em um único valor, já que considera a média de água consumida pelos animais, sendo que estes foram os mesmos utilizados em todos os capins (Tabela 6).

Tabela 6 – Volume de água azul demandado anualmente pelo sistema de produção de leite a pasto

Gado mestiço a Pasto	Demanda por UA (m ³ ano ⁻¹)	Demanda por hectare (m ³ ano ⁻¹)	Demanda por kg de leite (m ³ ano ⁻¹)
Água Azul	19,876	119,256	0,014

Para decidir qual elemento considerar entre Oxigênio Dissolvido, DBO, nitrogênio e fósforo (parâmetros que são contemplados pela CONAMA nº 357 com limite máximo permitido), o volume anual do escoamento superficial foi estimado a partir dos dados de chuva do INMET e foram calculados os volumes necessários para diluição ambos os nutrientes até o padrão aceitável definido legalmente. Com isso, verificou-se que, ao se considerar o nutriente fósforo, demandava-se maior volume de água do que quando se considerava os demais, portanto, ao considerar o nutriente mais exigente, conseqüentemente, aqueles com menor demanda também teriam assimilação assegurada (Tabela 7).

Tabela 7 – Volume de água necessário anualmente para assimilação da carga poluidora considerando os padrões de lançamento da Resolução CONAMA nº 357

	O.D. (m ³ ha ⁻¹)	DBO (m ³ ha ⁻¹)	P total (m ³ ha ⁻¹)	N total (m ³ ha ⁻¹)
<i>P. maximum cv. Zuri</i>	134,222	91,619	304,809	22,024
<i>Brachiaria decumbens cv. Basilisk</i>	131,282	79,382	370,448	48,952
<i>P. maximum cv. BRS Quênia</i>	52,520	44,421	92,260	20,844

Assim como a demanda de água verde, a água cinza apresentou diferença entre os capins, por isso foram estimados os valores necessários para assimilar a carga poluidora que foi escoada superficialmente pela precipitação natural (Tabela 8).

Tabela 8 – Volume de água cinza demandado anualmente pelo sistema de produção de leite a pasto por tipo de forrageira

Tipo de Forrageira	Demanda por UA (m ³ ano ⁻¹)	Demanda por hectare (m ³ ano ⁻¹)	Demanda por kg de leite (m ³)
<i>P. maximum cv. Zuri</i>	50,802	304,809	0,036
<i>Brachiaria decumbens cv. Basilisk</i>	61,741	370,448	0,044
<i>P. maximum cv. BRS Quênia</i>	15,377	92,260	0,011

A demanda hídrica de águas cinza e azul são substancialmente inferiores aos valores das demanda hídricas verde de cada forrageira, isso pode ser explicado pelo experimento ter sido realizado considerando apenas a pecuária extensiva sem irrigação ou aplicação de fertirrigação.

Para o valor da demanda hídrica total basta somar os valores das demandas verde, azul e cinza. Para isso, o volume de água verde dos três tipos de forrageiras foi somado separadamente com os volumes da água azul e cinza. Os volumes das demandas hídricas totais por tipo de forrageira estão descritos na Tabela 9.

Tabela 9 – Demanda Hídrica total (água verde + água azul + água cinza) anual do sistema de produção de leite a pasto por tipo de forrageira

Tipo de Forrageira	Demanda por UA (m ³ ano ⁻¹)	Demanda por hectare (m ³ ano ⁻¹)	Demanda por kg de leite (m ³)
<i>P. maximum cv. Zuri</i>	1666,640	9999,843	1,187
<i>Brachiaria decumbens cv. Basilisk</i>	2108,095	12648,568	1,501
<i>P. maximum cv. BRS Quênia</i>	2094,046	12564,278	1,491

Com isso, foi possível afirmar que a demanda hídrica anual para a produção de cada quilograma de leite varia entre 1,187 m³ e 1,501 m³, tendo menor consumo obtido pelo capim do tipo Zuri e o maior pelo tipo Quênia, ambos *Panicum maximum*.

Este estudo considerou apenas a precipitação natural e isso se reflete no percentual mais elevado de água verde cerca 96% de toda demanda hídrica (Figura 20). A água azul representou apenas cerca de 1% desse total e a cinza, 3%. Essas duas demandas ganham maior notoriedade quando as pastagens são irrigadas, no caso da água azul, e/ou fertirrigadas, no caso da água cinza.

Composição da demanda hídrica por tipo de forrageira (em %)

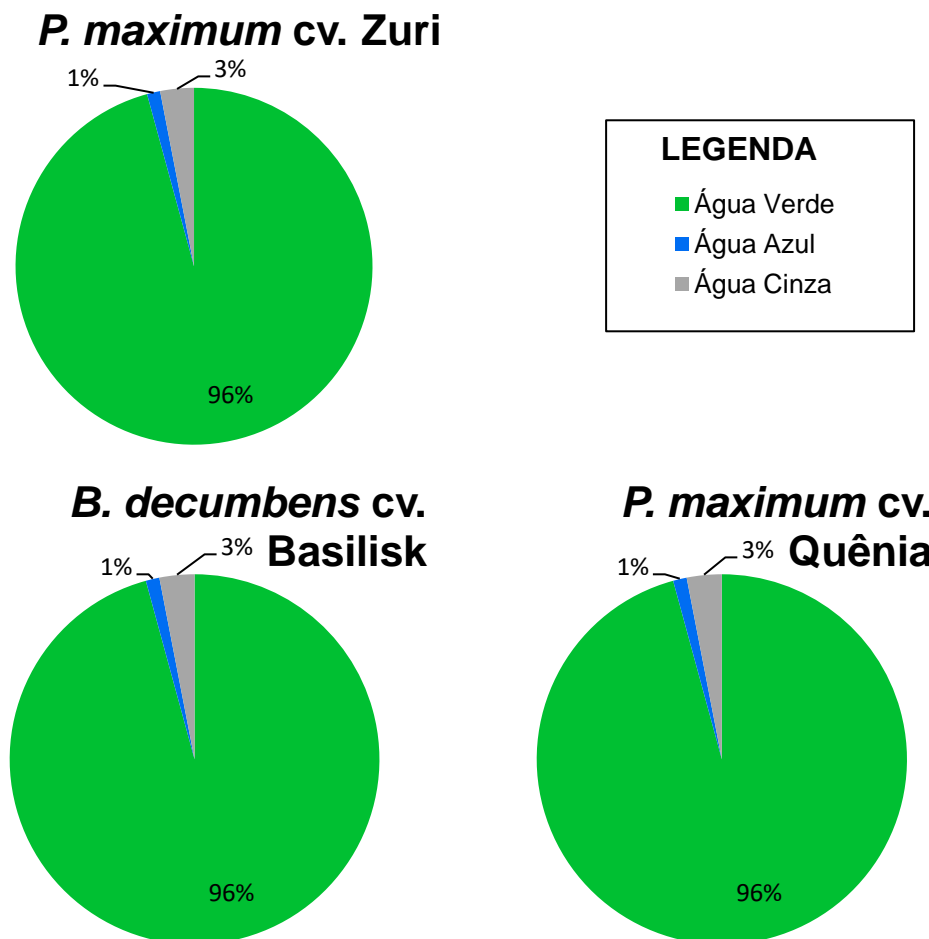


Figura 20 – Composição da demanda hídrica por tipo de água considerando a demanda hídrica de cada tipo de forrageira

A reflexão sobre a composição total de demanda hídrica nos diferentes tipos de água é de suma importância para o entendimento de onde o volume

de água foi retirado e para onde foi alocado. Como foi o caso deste estudo em que o volume total de água demandado foi superior ao volume médio mundial, porém, 96% desse volume foi oriundo de precipitação natural (água verde), que a partir daí foi utilizado naturalmente pela vegetação, tendo impacto mínimo. No caso de pastagens irrigadas ou gado alimentado com ração industrializada, poderiam apresentar maior demanda de água azul. Isso ilustra bem a discussão de alguns autores que defendem a possibilidade de as águas terem “pesos” diferentes segundo sua fonte ao realizar a análise de sustentabilidade da pegada hídrica (Kotsuka, 2013).

A demanda hídrica média anual foi de $1,393 \text{ m}^3 \text{ kg}^{-1}$ de leite, ou seja, para cada 1 quilograma de leite produzido nesse sistema, são consumidos em média $1,393 \text{ m}^3$ de água durante sua produção. Segundo Mekonnen e Hoekstra (2010), os valores médios da demanda hídrica do Brasil e do mundo, para pecuária extensiva, são de $1,110 \text{ m}^3 \text{ kg}^{-1}$ e $1,231 \text{ m}^3 \text{ kg}^{-1}$ respectivamente. Portanto, o valor médio encontrado no experimento foi 20,3% maior que a demanda hídrica média nacional e 11,6% superior que a mundial (Figura 21).

Isto sugere que a produção de leite a pasto, praticada na Zona da Mata Mineira, ainda pode ser melhorada e manejada de forma mais eficiente, mesmo tendo o maior volume de água como demanda verde, sendo esta, oriunda de precipitação.

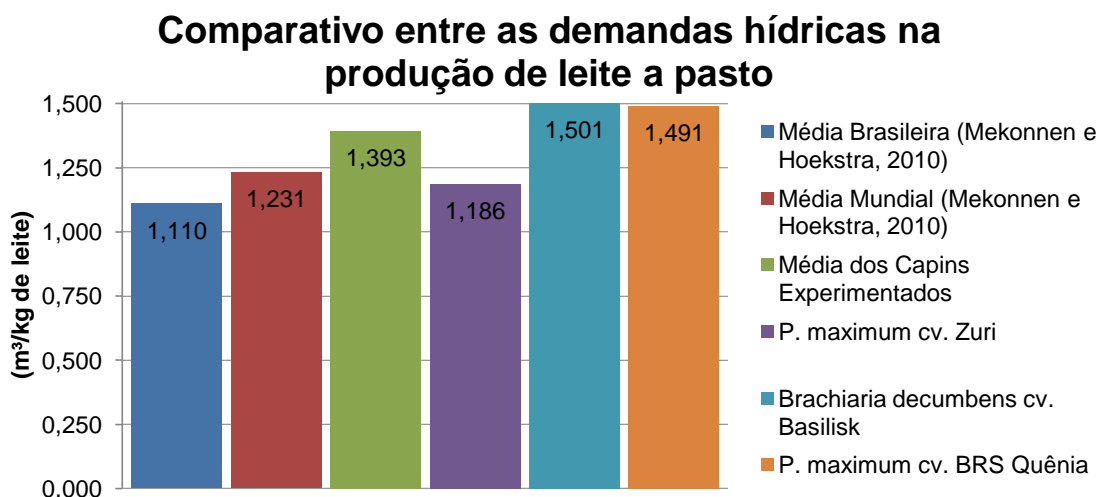


Figura 21 – Demandas hídricas em m^3 para cada quilograma de leite produzido, comparando as médias mundiais e brasileiras segundo Mekonnen e Hoekstra (2010) e comparando com os valores médios e por tipo de capim usados neste experimento

5 CONCLUSÃO

A utilização da metodologia de pegada hídrica possibilitou fazer este cálculo do consumo de água na produção de leite na pecuária extensiva para diferentes culturas forrageiras, considerando as demandas da água verde para cada tipo de cultura forrageira, a água azul e cinza na pecuária extensiva.

A apresentação da composição da demanda hídrica total ilustrou o fato de que apesar de volumosa, 96% do total de água utilizado nessa produção é constituído de água verde, portanto oriundo de precipitação natural e que ocasiona pressão mínima para o ambiente.

O valor médio da demanda hídrica encontrado, $1,393 \text{ m}^3 \text{ kg}^{-1}$ de leite produzido, foi superior às médias encontradas relacionadas ao Brasil e ao mundo, sendo de $1,110 \text{ m}^3 \text{ kg}^{-1}$ e $1,231 \text{ m}^3 \text{ kg}^{-1}$, respectivamente.

6 REFERÊNCIAS

ALBUQUERQUE, P.E.P.; GUIMARAES, D.P.; LANDAU, E.C. Mapas decendiais de evapotranspiração de referência (ET_o) para Minas Gerais. **Embrapa Milho e Sorgo-Documents (INFOTECA-E)**, 2011.

ALLEN, Richard G. et al. FAO Irrigation and drainage paper No. 56. **Rome: food and agriculture organization of the united nations**, v. 56, n. 97, p. e156, 1998

ALLEN, Richard G. **REF-ET: Reference evapotranspiration calculator, Version 2.1**. Idaho: Idaho University, 2000.

Agência Nacional de Águas - ANA. **Conjuntura dos recursos hídricos no Brasil: informe 2012**. Ed. Especial. Brasília: ANA, 2012. 112p.

BARCELLOS, Alexandre de Oliveira et al. Sustentabilidade da produção animal baseada em pastagens consorciadas e no emprego de leguminosas exclusivas, na forma de banco de proteína, nos trópicos brasileiros. **Revista Brasileira de Zootecnia**, v. 37, n. SPE, p. 51-67, 2008.

BRASIL. Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento. **Projeções do Agronegócio: Brasil 2012/2013 a 2022/2023**. Brasília: 2013.

BRASIL. Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento – MAPA. **Plano Mais Pecuária**. Brasília: 2014.

BRASIL, CONAMA. Resolução. Nº 357, de 17 de março de 2005. **Conselho Nacional do Meio Ambiente – CONAMA**. Brasília, 2005. Disponível em: <<http://www.mma.gov.br/port/conama/res/res05/res35705.pdf>>. Acesso em: 19/11/2017.

CARVALHO, Anne Caroline Barbosa de. **Avaliação da perda de solo por fluxo superficial em cultivos puro e consorciado**. Dissertação (Mestrado em Ecologia) – Universidade Federal de Juiz de Fora, Juiz de Fora, 2012. 91p.

CARVALHO, Daniel Fonseca de et al. Estimativa da evapotranspiração de referência a partir de dados meteorológicos limitados. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v. 50, n. 1, p. 1-11, 2015.

DRASTIG, K. et al. Water footprint analysis for the assessment of milk production in Brandenburg (Germany). **Advances in geosciences**, v. 27, p. 65-70, 2010.

EMBRAPA. **Sistema brasileiro de classificação de solos**. Centro Nacional de Pesquisa de Solos: Rio de Janeiro, 2013.

GOMES, Sebastião Teixeira. **Evolução recente e perspectivas da produção de leite no Brasil: o agronegócio do leite no Brasil**. Juiz de Fora: EMBRAPA/CNPGL, p. 207-240, 2001.

HOEKSTRA, Arjen Ysbert; CHAPAGAIN, Ashok K.; ALDAYA, Maite M.; MEKONNEN, Mesfin M. **The water footprint assessment manual: setting the global standard**. Londres: Earthscan, 2011. 80p.

HOEKSTRA, Arjen Y.; MEKONNEN, Mesfin M. The water footprint of humanity. **Proceedings of the national academy of sciences**, v. 109, n. 9, p. 3232-3237, 2012.

HUANG, Jing et al. 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, 2014.

KOTSUKA, Luziadne Katiucia. **Avaliação dos conceitos de água virtual e pegada hídrica na gestão de recursos hídricos: estudo de caso da soja e óleo de soja**. Dissertação (Mestrado em Engenharia Ambiental) - Universidade Federal do Paraná, Curitiba, 2013. 144p.

MAIA, Guilherme Baptista da Silva et al. Produção leiteira no Brasil. **BNDES Setorial**, n. 37, mar. 2013, p. 371-398, 2013.

MANZARDO, Alessandro et al. Integration of water footprint accounting and costs for optimal chemical pulp supply mix in paper industry. **Journal of cleaner production**, v. 72, p. 167-173, 2014.

MEKONNEN, Mesfin M.; HOEKSTRA, Arjen Y. **The green, blue and grey water footprint of farm animals and animal products**. Delft: UNESCO-IHE Institute for water Education, 2010.

MEKONNEN, Mesfin M.; HOEKSTRA, Arjen Y. **National water footprint accounts: the green, blue and grey water footprint of production and consumption**. (Value of Water Research Report Series n. 50). UNESCO-IHE Institute for Water Education: Delf, Holanda, n. 50. 2011.

MEKONNEN, Mesfin M.; HOEKSTRA, Arjen Y. A global assessment of the water footprint of farm animal products. **Ecosystems**, v. 15, n. 3, p. 401-415, 2012.

NÚCLEO DE ESTUDOS E PESQUISAS EM ALIMENTAÇÃO - NEPA. **Tabela brasileira de composição de alimentos**. Campinas (SP): NEPA-Unicamp, 2011. 105p.

NETO, Adjalma Campos de França. **Análise de métodos simplificados de estimativa da ETo e da sensibilidade das variáveis do cálculo da lâmina de irrigação para a cultura do café**. Dissertação (Mestrado em Ciências) – Universidade Federal de Viçosa, Viçosa, 2003.

PALHARES, Julio Cezar Pascale. Consumo de água na produção animal. **Comunicado Técnico 102**. São Carlos: Embrapa Pecuária Sudeste, 2013.

PALHARES, Julio Cezar Pascale; PEZZOPANE, Jose Ricardo Macedo. Water footprint accounting and scarcity indicators of conventional and organic dairy production systems. **Journal of Cleaner Production**, v. 93, p. 299-307, 2015.

PRATA, L. F. et al. Composição, perfil nitrogenado e características do leite caprino (Saanen). Região Sudeste, Brasil. **Ciência e Tecnologia de Alimentos**, v. 18, n. 4, p. 428-432, 1998.

RIDOUTT, Bradley G.; PFISTER, Stephan. Reducing humanity's water footprint. **Environmental Science & Technology**. v. 44, n. 16, p. 6019-6021, 2010.

RIDOUTT, Bradley G. et al. The water footprint of dairy products: Case study involving skim milk powder. **Journal Of Dairy Science**. v. 93, n. 11, p. 5114-5117, 2010.

RILEY, J. Water footprint must be reduced. **Farmers Weekly**. v. 150, n. 13, p. 12. 2009.

RODRIGUES, Braz Henrique Nunes et al. Evapotranspiração e coeficiente de cultura do capim-Tanzânia. **Boletim de Pesquisa e Desenvolvimento 98**. Teresina: Embrapa Meio-Norte, 2011.

SANCHES, Arthur Carniato et al. Consumo de água de forrageiras tropicais no período de formação de pastagem. **Revista Brasileira de Agricultura Irrigada**, v. 11, n. 2, p. 1291-1301, 2017.

SANTOS, Fábio Ferreira; QUEIROZ, Rita de Cássia Souza de; ALMEIDA NETO, José Adolfo de. Evaluation of the application of Cleaner Production techniques in a dairy industry in Southern Bahia. **Gestão & Produção**, 2017.

SEIXAS, Vanessa Sofia de Carvalho. **Análise da pegada hídrica de um conjunto de produtos agrícolas**. Dissertação (Mestrado em Engenharia do Ambiente) - Universidade Nova de Lisboa, Lisboa, 2011. 110p.

SILVA, Cátia Cristina Mofato Frade da et al. Atributos morfofisiológicos e fitomassa de *Brachiaria decumbens* em um sistema silvipastoril. **Revista de Ciência da Vida**, v. 31, n. 2, pp. 87-95, 2011.

SILVA, Vicente de Paula R. da et al. Uma medida de sustentabilidade ambiental: pegada hídrica. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**. v. 17, n. 1, p. 100-105. 2013.

United States Department of Agriculture – USDA. **Cows milk production and consumption: summary for selected countries**. Washington: USDA Foreign Agricultural Service, 2015.

VOLTOLINI, Tadeu Vinhas et al. Pastos e manejo do pastejo em áreas irrigadas. In: **Produção de caprinos e ovinos no Semiárido**. Petrolina: Embrapa Semiárido, 2011.

WILLERS, Camila D. et al. Determination of indirect water consumption and suggestions for cleaner production initiatives for the milk-producing sector in a Brazilian middle-sized dairy farming. **Journal of Cleaner Production**, v. 72, p. 146-152, 2014.

ZOCCAL, Rosangela; SOUZA, AD de; GOMES, Aloisio Teixeira. **Produção de leite na agricultura familiar**. Embrapa Gado de Leite, 2005.

ZUGMAN, Ilan; PALHARES, Julio Cezar Pascale. Pegada hídrica azul de uma unidade de processamento de leite. In.: **XXI Simpósio Brasileiro de Recursos Hídricos - ABRH**. Brasília, 2015.

CAPÍTULO 3

ANÁLISE QUALI-QUANTITATIVA DA ÁGUA DE ESCOAMENTO SUPERFICIAL NA PECUÁRIA EXTENSIVA, UTILIZANDO TRÊS TIPOS DE FORRGEIRAS EM CONDIÇÕES DE CLIMA TROPICAL

RESUMO

Foram estudados três tipos de capins, instaladas em parcelas experimentais, sendo quatro repetições espaciais por tipo de forrageira, para quantificar o escoamento superficial e a erosão laminar durante o primeiro semestre de 2017. O trabalho foi realizado nas instalações da Embrapa Gado de Leite, no município de Coronel Pacheco – MG. A *Brachiaria decumbens* cv. Basilisk foi o capim com maior perda de solo e água, a *Panicum maximum* cv. BRS Quênia foi a que apresentou a menor perda de água e a *Panicum maximum* cv. BRS Zuri, de solo. Através de uma análise dos componentes principais (PCA), considerando parâmetros físicos (inclinação do terreno, altura da forrageira, cobertura do solo) e químicos (oxigênio dissolvido, DBO, DQO, carbono orgânico total, nitrogênio total, fósforo total e potássio total) se identificou que a altura da forrageira é o principal componente que interfere na perda de solo e escoamento da água, ainda que estes, também se relacionem com a inclinação do terreno e a cobertura do solo. A perda de solo real e estimada para a Braquiária foi de 0,038402 e 0,040086 t ha⁻¹ semestre⁻¹ respectivamente, sendo valores bastante próximos, porém, no caso das *P. maximum*, os valores estimados foram aproximadamente 2,3 vezes em comparação com o total amostrado. Esse resultado superestimado alerta sobre a necessidade de mais trabalhos para determinação dos índices para as realidades brasileiras, mostrando que somente fazer repetidas estimativas pode induzir a erros.

Palavras-chave: Erosão Hídrica; USLE; Escoamento Superficial; Perda de Solo.

CHAPTER 3

QUALI-QUANTITATIVE ANALYSIS OF SURFACE-FLOODING WATER IN EXTENSIVE LIVESTOCK, USING THREE TYPES OF FORMS IN TROPICAL CLIMATE CONDITIONS

ABSTRACT

Three types of grasses were studied in experimental plots, four spatial replicates per forage type, to quantify surface runoff and laminar erosion during the first semester of 2017. The work was carried out at the facilities of Embrapa Gado de Leite, municipality of Coronel Pacheco - MG. The *Brachiaria decumbens* cv. Basilisk was the grass with the highest loss of soil and water, the *Panicum maximum* cv. BRS Quenia presented the lowest water loss and *Panicum maximum* cv. BRS Zuri, solo. By analyzing the main components (PCA), considering physical parameters (soil gradient, forage height, soil cover) and chemical (dissolved oxygen, BOD, COD, total organic carbon, total nitrogen, total phosphorus and total potassium) it was identified that the height of the forage is the main component that interferes in the loss of soil and water flow, although these also are related to the slope of the land and the cover of the soil. The actual and estimated soil loss for *Brachiaria* was 0.038402 and 0.040086 t ha⁻¹ semester⁻¹ respectively, with values being close enough, however, in the case of *P. maximum*, the estimated values were approximately 2.3x compared to the total sampled. This overestimated result alerts us to the need for more work to determine the ides for the Brazilian realities, showing that only making repeated estimates can induce errors.

Keywords: Water Erosion; USLE; Surface Runoff; Loss of Soil.

1 INTRODUÇÃO

As atividades de produção de leite, com gado criado à pasto, provocam um impacto direto sobre a quantidade e qualidade da água que escoam superficialmente. O escoamento superficial gerado nessas atividades carregam além de nutrientes químicos, material orgânico, sementes e agrotóxicos, também os sedimentos provenientes da erosão laminar, que causam prejuízos diretos à produção e provocam a poluição dos mananciais (Pruski, 2009).

O processo natural de desprendimento e arraste de partículas do solo, seja a partir da ação da água ou do vento, é chamado de erosão e, embora seja inerente à própria formação do solo, é a principal causa da degradação de terras agrícolas (Pruski, 2009). A erosão hídrica ocorre a partir da ação conjunta entre o impacto das gotas de água da chuva e seu movimento sobre o solo, que transporta sedimentos e nutrientes (Aragão *et al.*, 2011).

Existem três tipos de erosão hídrica: laminar, em sulcos e voçorocas, sendo a erosão laminar considerada um dos principais problemas ambientais em bacias hidrográficas antropizadas e de uso predominantemente agropecuário (Baptista, 2003). As perdas por erosão tendem a onerar a produção, fazendo necessário o uso de fertilizantes e corretivos agrícolas para tentar manter os níveis de produtividade.

O processo erosivo hídrico acontece em todo o planeta, mas em especial entre os trópicos, que é onde se encontram as maiores médias pluviométricas do mundo. O Brasil, estando localizado dentro deste intervalo, possui a erosão hídrica como principal tipo de erosão. Além disso, em determinadas áreas, as chuvas se concentram em certas épocas do ano, agravando esse quadro (Guerra *et al.*, 2009). Portanto, é imprescindível a avaliação dos processos erosivos que determinam as quantidades de água, solo e nutrientes perdidos para a definição de medidas de manejo e conservação.

Os métodos de determinação de perdas de solo causadas pela erosão laminar podem ser diretos ou indiretos. O primeiro consiste na coleta, medição e análise do material erodido *in loco*. Já os indiretos se baseiam nas

características do solo, sua utilização e manejo, na forma de variáveis que podem ser utilizadas como entradas para um modelo matemático (Bertoni e Lombardi Neto, 2010). Embora sejam geralmente mais imprecisos, a utilização de modelos matemáticos surgiu como uma ferramenta rápida e barata para estimar os processos erosivos e traçar estratégias de mitigação, uma vez que a experimentação em campo leva mais tempo e acaba saindo mais onerosa (Cabral et al., 2010; Silva et al., 2003; Baptista, 2003).

A partir da década de 1950, foram desenvolvidos e aperfeiçoados diversos modelos com o intuito de prognosticar as perdas de solo por erosão (Amorim, 2004). No entanto, antes de serem utilizados, necessitavam serem avaliados e/ou calibrados para uma determinada condição climática, tendo em vista que foram desenvolvidos e ajustados para condições de clima temperado, que são bastante diferentes das encontradas em climas tropicais. Portanto, torna-se essencial verificar sua aplicabilidade para as condições climáticas brasileiras (Carvalho, 2012).

Dentre os modelos que surgiram para tentar expressar as ações dos principais fatores que influenciam nas perdas de solo pela erosão hídrica, destaca-se a “Equação Universal de Perda de Solo” – EUPS (no inglês, Universal Soil Loss Equation - USLE) que, por se mostrar mais dinâmica, consegue superar, ainda que parcialmente, as restrições climáticas e geográficas e permite sua utilização de forma mais generalizada (Mingoti, 2009). Os modelos desenvolvidos posteriormente foram elaborados a partir dela, ou contendo variáveis similares. Ainda hoje é a equação de estimativa de erosão mais conhecida e aplicada no mundo e também considerada a mais simples e que apresenta boa adequabilidade para as condições brasileiras (Silva *et al.*, 2008).

A USLE é uma equação empírica que estima a erosão laminar para as combinações possíveis dentro dos sistemas de cultivo e práticas conservacionistas aplicadas a um tipo de solo específico, condições de chuva e topografia (Wichmeier e Smith, 1978). E, apesar de apresentar diversas limitações, a mesma se mostra um bom instrumento para estimar perdas de solo por erosão laminar, por exigir um número de informações relativamente

pequeno ao ser comparado aos modelos mais complexos (Amorim *et al.*, 2009).

A pesquisa científica no Brasil sobre erosão acelerada de solo é bastante recente, tendo início aproximadamente a partir da década de 1990 (Barretto *et al.*, 2008). Os trabalhos iniciais foram realizados, utilizando os dados existentes para as condições do estado de São Paulo (Bertoni e Lombardi Neto, 2010). Ainda hoje existem dificuldades para se desenvolver trabalhos de maneira personalizada devido à falta de informações que identificam os diferentes fatores para calibração do modelo, gerando assim estimativas pouco confiáveis.

Neste sentido, esse trabalho procura estimar a produção de sedimentos por experimentos realizados em campo e a partir do modelo USLE, para a atividade de produção leiteira à pasto na região da Zona da Mata mineira, considerando diferentes tipos de forrageira.

2 OBJETIVOS

O objetivo principal deste capítulo foi avaliar qual-quantitativamente a água do escoamento superficial em atividades de pecuária extensiva, considerando três tipos de forrageiras diferentes. Teve, também, como objetivos secundários:

- Identificar e comparar características das forrageiras estudadas;
- Estimar a perda de solo anual apresentada em 2017 e compará-la com a quantidade esperada a partir das médias históricas de chuva de 1961-90;
- Comparar o total de solo perdido real (amostrada) durante o primeiro semestre de 2017 com o total estimado pela USLE durante o mesmo período.
- Realizar uma análise multivariada dos parâmetros químicos de qualidade da água relacionados ao escoamento superficial em atividades de pecuária extensiva.

3 MATERIAL E MÉTODOS

A área, os capins e as parcelas experimentais são as mesmas já detalhadas e estas informações podem ser conferidas no capítulo 2 deste trabalho.

3.1 COLETAS E ANÁLISES DE ÁGUA E SEDIMENTOS

Nas coletas dos experimentos de campo, realizadas nas datas 11/01, 17/01, 08/02, 20/03, 10/04 e 23/05 do ano de 2017 foram quantificadas as perdas de solo, água e nutrientes medidos após precipitação natural e que sofreram arraste superficial até o coletor da parcela.

Em cada parcela, o volume de água foi contabilizado e em seguida foram retiradas amostras da água que foram enviadas para o CSL Laboratório de Análises Ambientais, situado no município de Americana-SP, para determinação da condutividade, DQO, Carbono Orgânico Total, DBO, Fósforo total, Nitrogênio total e Potássio. Após a coleta das amostras de água o volume era drenado e os sedimentos restantes ao fundo, colocados em outro recipiente e levados para laboratório para terem sua massa determinada.

Após a sedimentação, era retirada do excesso de água e o material restante levado para estufa de circulação de ar, com temperatura de 54°C, por 72h. Após este processo o material era novamente determinado em uma balança de precisão. Esta separação entre água e sedimentos coletados está ilustrada no fluxograma abaixo (Figura 25).

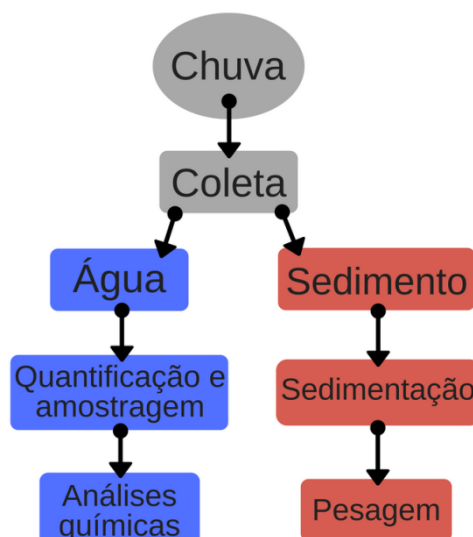


Figura 22 – Fluxograma ilustrando as fases práticas do funcionamento e amostragem do experimento

3.2 DETERMINAÇÃO DA PRODUÇÃO VEGETAL

A determinação da biomassa vegetal foi realizada por meio do uso de um quadrado de 0,25 m² (0,5 x 0,5 m), onde se colhia, com ajuda de uma foice, todo o material vegetal que tinha sua massa pesada. Também era calculado a cobertura vegetal por observação através da metodologia conhecida como “ponta de sapato” (Staver, 2001).

A cada coleta, após a pesagem da amostra total, era levada uma amostra menor (de massa conhecida) para uma estufa de circulação de ar, com temperatura de 55°C, por 72h. Após esse procedimento, as amostras eram novamente pesadas em uma balança de precisão para determinação da matéria seca. A diferença entre a massa seca e sua massa antes de ser colocada na estufa resulta no percentual de água contido pela forrageira.

3.3 ANÁLISES ESTATÍSTICAS

Os resultados das perdas de solo, água, inclinação do terreno, altura das plantas e produção vegetal, ao longo do primeiro semestre de 2017, para cada tipo de forrageira, foram submetidos à análise de variância e, posteriormente, o teste de Tukey ($p \leq 0,05$), para comparar os valores médios. Esse índice

também foi utilizado para correlacionar a precipitação e as perdas de solo em campo durante o período de avaliação.

3.4 FATORES DA USLE

As estimativas de perda de solo realizadas utilizaram como base o modelo USLE descrito pela equação 4 (Wischmeier e Smith, 1978).

$$A = R * K * L * S * C * P \quad (4)$$

Onde:

A = perda de solo média anual, t ha⁻¹ ano⁻¹;

R = fator de erosividade da chuva, MJ mm ha⁻¹ h⁻¹;

K = fator erodibilidade do solo, t ha MJ⁻¹ mm⁻¹;

L = fator de comprimento de rampa, adimensional;

S = fator de declividade de rampa, adimensional;

C = fator de uso e manejo do solo, adimensional;

P = fator de práticas conservacionistas, adimensional.

O fator erosividade (R) foi obtido a partir da metodologia proposta por Silva (2004), que possibilita estimar a erosividade a partir dos dados de precipitações médias mensais e precipitações médias anuais, calculada pela equação (5):

$$R_x = 12,592 \left(\frac{M_x^2}{P} \right)^{0,603} \quad (5)$$

Onde:

R_x = erosividade da chuva para cada mês, MJ mm ha⁻¹ h⁻¹;

M_x = valor da precipitação média mensal, mm;

P = precipitação média anual, mm.

O fator erodibilidade (K) utilizado foi de $0,009 \text{ t ha MJ}^{-1} \text{ mm}^{-1}$, no trabalho de Carvalho (2012) que realizou um trabalho semelhante sobre as estimativas de escoamento superficial a partir da USLE na mesma área em que este trabalho foi realizado, podendo assim ser afirmado que as características de erodibilidade do solo são semelhantes.

A determinação do fator topográfico (LS) foi realizada por uma equação estabelecida para qualquer valor de L e S, que faz uma correção e possibilita a utilização do modelo USLE mesmo em qualquer grau de inclinação (Carvalho, 2012). Os valores da declividade foram medidos *in loco* nas parcelas experimentais.

$$LS = \frac{\sqrt{L}}{100 * (1,36 + 0,97S + 0,1385S^2)} \quad (6)$$

Onde:

L = comprimento do declive, m;

S = grau do declive, %.

Os fatores de uso e manejo do solo (C) utilizados foram obtidos pela literatura sobre os tipos de capins utilizados: 0,01 para os *Panicum maximum*, tanto Zuri quanto Quênia (Margolis e Campos, 1981; Howeler, 2001); e também 0,01 para a *Brachiária decumbes* (Silva *et al.* 2003; Pruski, 2009). Também foi extraído da literatura o fator práticas conservacionistas (P), adotando-se o valor de 0,5, equivalente ao plantio em contorno (Pruski, 2009), por ser o valor que mais se aproximava ao sistema utilizado neste trabalho.

4 RESULTADOS E DISCUSSÃO

O ano de 2017 foi atípico considerando a quantidade de precipitação natural, chovendo 883,3 mm todo o ano, o que representa 57% da precipitação média histórica, que é 1540,2 mm, registrada nas normais

climatológicas do Brasil, 1961 e 1990, para Coronel Pacheco (Ramos, Santos e Fortes, 2009). No gráfico é apresentados os dados referentes as chuvas ao longo do ano (Figura 26).

Precipitação acumulada entre as médias históricas e de 2017 (em mm)

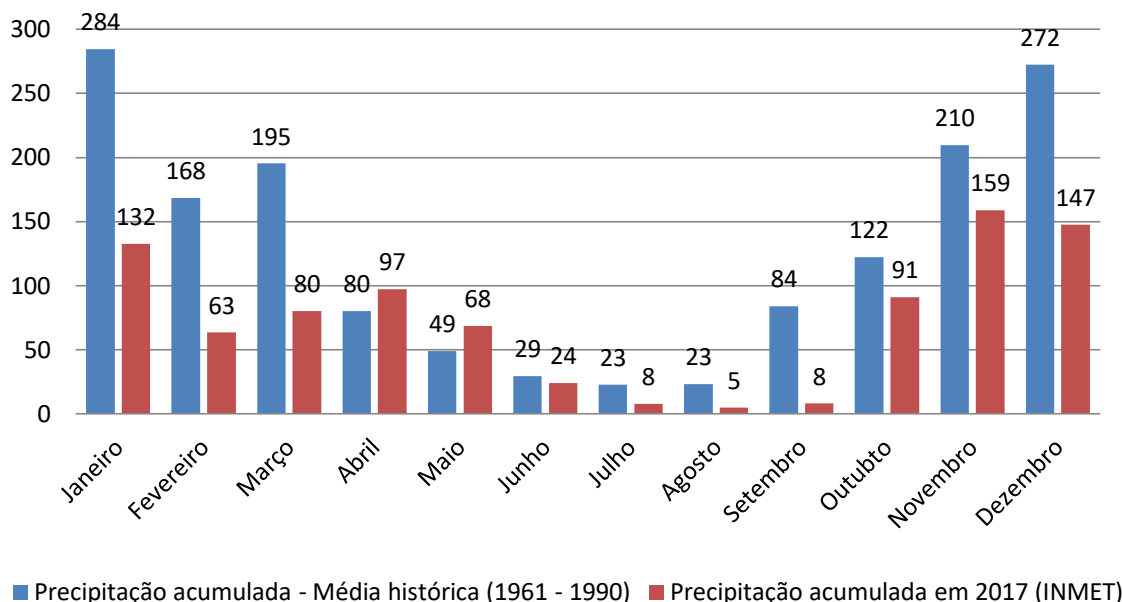


Figura 23 - Volumes de chuva ocorridos no ano de 2017 em comparação com os registros históricos para Coronel Pacheco - MG

O experimento foi realizado durante o primeiro semestre de 2017 e as coletas de dados eram dependentes do número e volume de chuvas que ocorreram no local. A baixa precipitação influenciou diretamente no menor número de coletas realizadas.

4.1 CARACTERIZAÇÃO DAS FORRAGEIRAS

A partir das parcelas experimentais foi possível a medição e o acompanhamento de diversos atributos físicos e químicos a fim de comparar as diferentes coberturas vegetais (Tabela 10). As amostras de água e sedimentos foram realizadas após chuvas acumuladas que variaram entre 29 - 57,4mm. As tabelas de dados coletados completas se encontram nos Apêndices 1, 2, 3 e 4.

Tabela 10 – Características da área e da composição as forrageiras utilizadas no experimento

	<i>P. maximum</i> cv. Zuri	<i>B. decumbens</i> cv. Basilisk	<i>P. maximum</i> cv. Quênia
Inclinação (%)	22,6 b	28,56 a	26,59 ab
Altura (cm)	53,25 b	46,25 b	85,63 a
Cobertura do solo (%)	58,2 ab	66,3 a	53,8 b
Massa seca (kg ha ⁻¹)	3924,7 a	4131,7 a	6424,5 a
Massa de água (kg ha ⁻¹)	13675,3 a	12018,3 a	23125,5 a
Teor de Água (%)	77,96	74,85	76,48
Escoamento superficial (m ³ ha ⁻¹)	5,156 a	5,531 ab	2,000 b
Arraste de sedimentos (kg ha ⁻¹)	1,893 a	6,400 a	2,570 a
N total escoado (mg L ⁻¹)	2,50	5,18	6,10

Valores médios, seguidos por letras (comparação entre capins): letras iguais significa que não diferem estatisticamente pelo Teste de Tukey (p<0,05)

A fim de melhor visualizar da variação entre capins para perda de água e solo, foram confeccionados os gráficos abaixo (Figura 27).

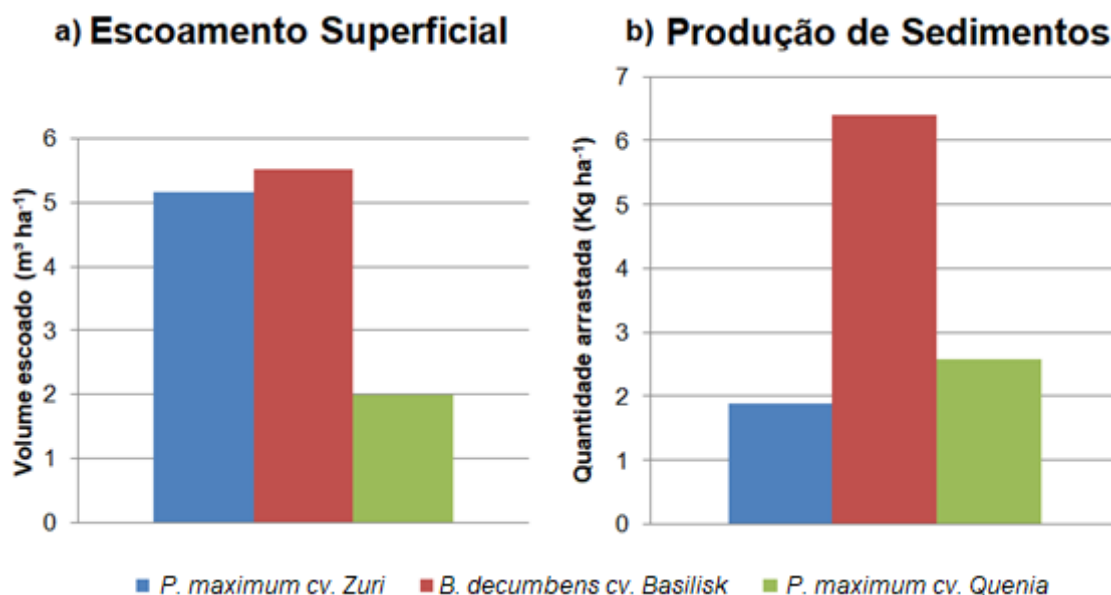


Figura 24 – Gráficos comparativos entre as médias dos capins *P. maximum* cv. Zuri, *B. decumbens* cv. Basilisk e *P. maximum* cv. BRS Quênia em relação: a) ao volume de água escoado e b) à quantidade de sedimentos produzidos após precipitação natural

Apesar de exibir a maior cobertura do solo, a *Brachiaria decumbens* cv. Basilisk apresentou a maior perda de água e material sedimentar por escoamento superficial dentre as forrageiras do experimento, apresentando

cerca de duas a três vezes mais sedimento arrastado que os capins Zuri e Quênia. Um dos fatores que pode ter colaborado para esse maior arraste pode ter sido a inclinação média do terreno que era de quase 30%, a maior taxa desse experimento.

A *Panicum maximum* cv. BRS Quênia obteve o menor valor de escoamento superficial de água e também a maior produção vegetal em comparação com as demais forrageiras. Apesar da maior produção vegetal esse foi o capim que apresentou a maior concentração de nitrogênio total nas amostras coletadas após o escoamento superficial, fato que pode ter acontecido justamente por apresentar menor volume de água escoado, que pode ter resultado em uma amostra menos diluída.

Já a *Panicum maximum* cv. Zuri ofereceu o menor arraste de sedimentos e também menor concentração de nitrogênio total, apesar de o volume hídrico escoado ter sido o quase tão alto quanto o da Braquiária. O fato de escoar maior volume de água, sem arraste de sedimentos, pode ter contribuído para a baixa concentração de nitrogênio total nas amostras de água coletada para o capim. Com altura e cobertura do solo medianas dentro do experimento, foi o capim com maior teor de água em sua estrutura.

4.2 ANÁLISE MULTIVARIADA DOS PARÂMETROS FÍSICO-QUÍMICOS

Foram realizadas análises dos componentes principais (PCA) para verificar a interação das amostras e identificar os parâmetros que mais influenciaram no volume de escoamento superficial e na quantidade de sedimentos arrastados. Foram realizadas duas análises: a primeira considerando variáveis físicas e químicas das amostras, e a segunda, considerando apenas as variáveis físicas.

O gráfico representado pela Figura 28 mostra a análise multivariada considerando tanto parâmetros físicos, quanto químicos das amostras realizadas.

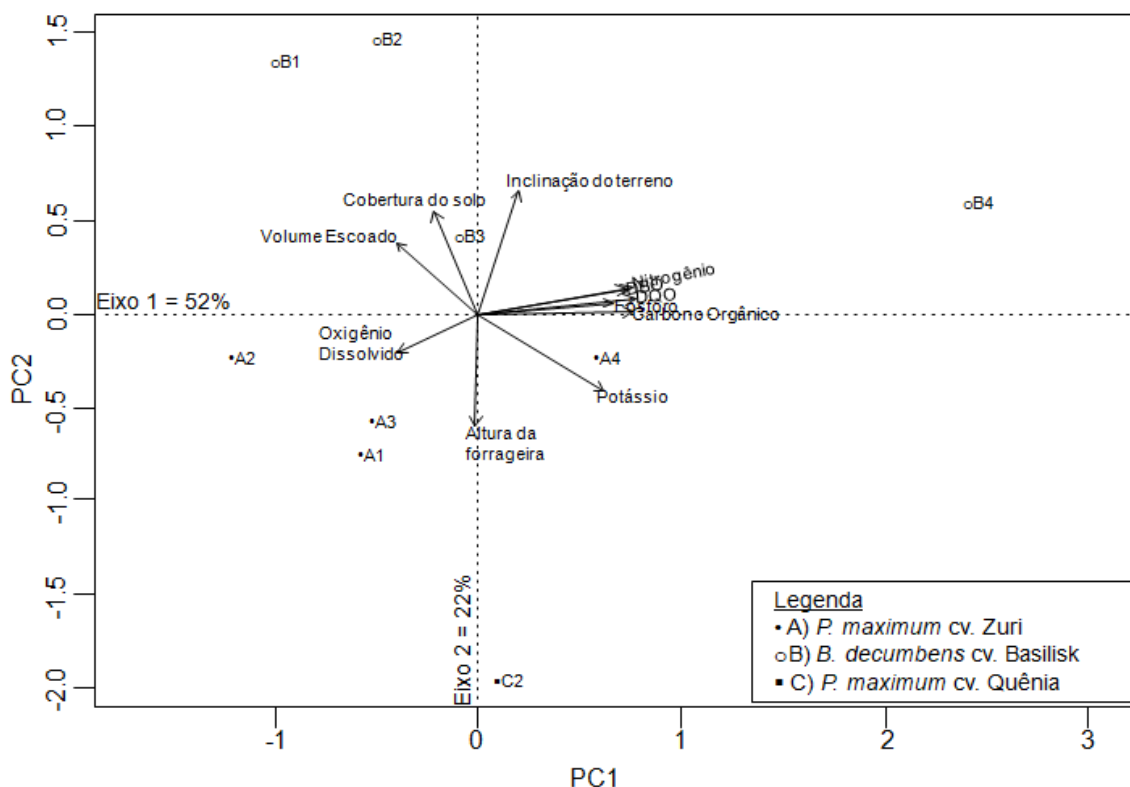


Figura 25 – Análise dos componentes principais considerando parâmetros físicos e químicos das amostras. As letras variam de A até C representando o tipo de capim e os números de 1 a 4 representam a repetição espacial da parcela

Esta análise explicou 74% da variância (eixo 1 = 52% e eixo 2 = 22%). O componente 1 foi influenciado de modo positivo pelas variáveis DQO, carbono orgânico total, nitrogênio e fósforo, e negativo pelo volume de água escoado e oxigênio dissolvido, essa interação mostra que quanto menor o oxigênio dissolvido, maior a concentração desses outros componentes e vice-versa. Enquanto o componente 2 foi influenciado de modo positivo pela inclinação e cobertura do solo e negativo pela altura da forrageira (Apêndice 5). Pode-se então concluir a cobertura do solo e inclinação do terreno estão correlacionadas com o volume de água escoado e que esses componentes são afetados contrariamente pela a altura das forrageiras e também, o fato de que os parâmetros químicos são afetados contrariamente pela quantidade o oxigênio dissolvido disponível.

Porém, pode-se perceber que somente existe um ponto correspondente ao capim Quênia (C2), isso aconteceu devido à falta de amostras dos parâmetros químicos que, das quatro repetições espaciais, só houve

quantidade mínima para a realização da análise em apenas uma. Por isso, foi realizada outra análise dos componentes principais, desta vez, considerando apenas os parâmetros físicos, sendo que este foi possível fazer a identificação de todos os pontos e repetições espaciais (Figura 29).

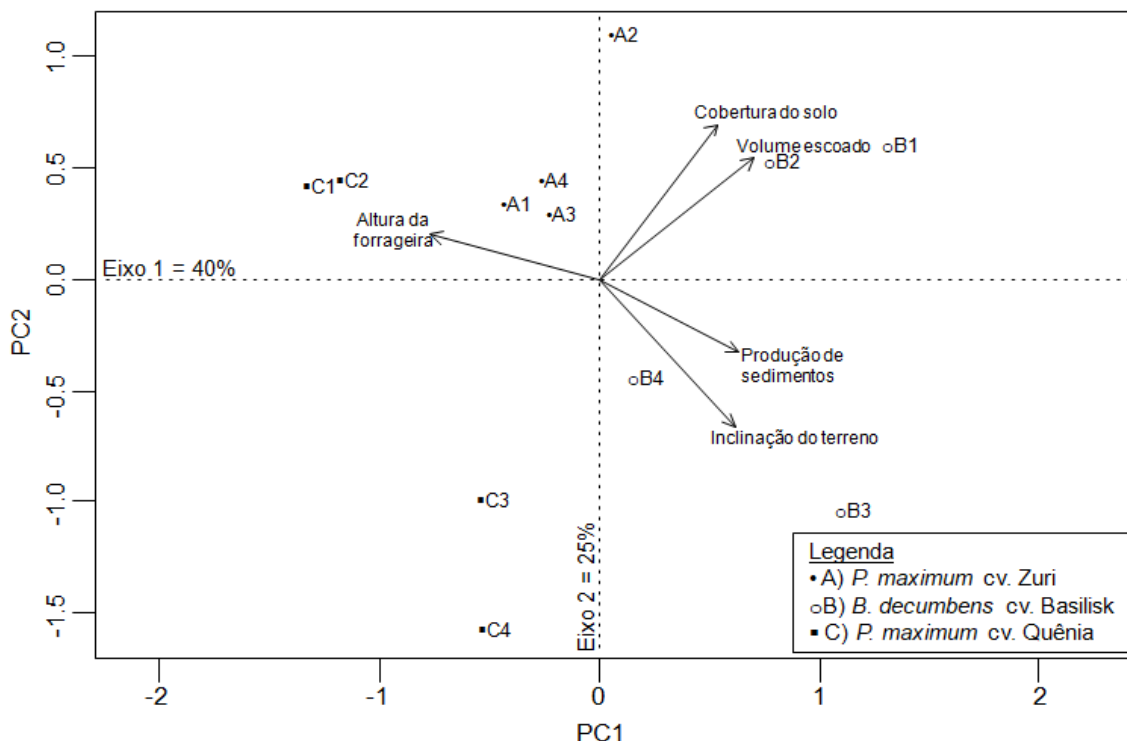


Figura 26 – Análise dos componentes principais considerando apenas os parâmetros físicos. As letras variam de A até C representando o tipo de capim e os números de 1 a 4 representam a repetição espacial da parcela

Considerando apenas os componentes físicos, a análise foi capaz de explicar 65% da variância (eixo 1 = 40% e eixo 2 = 25%). Isso mostra que os componentes químicos eram responsáveis por cerca de 9% da explicação. O componente 1 foi influenciado de modo positivo pelo volume de água escoado e negativo pela altura dos capins, já o componente 2 foi influenciado de modo positivo pela cobertura do solo e negativo pela inclinação do terreno (Apêndice 6).

Desta vez as interações ficam mais claras, tornando as correlações entre cobertura do solo e volume escoado mais nítidas, e também entre produção de sedimentos e inclinação do terreno, estas duas que por sua vez, sofrem interferência direta e contrária pela altura das forrageiras. É possível afirmar então que a produção de sedimentos e o escoamento superficial da

água, apesar de estarem relacionados também com a inclinação do terreno e cobertura do solo, respectivamente, são mais afetados pela altura das forrageiras.

Essas análises justificam o principal motivo de a forrageira tipo Quênia ter apresentado as menores médias de arraste de sedimento e volume de escoamento, uma vez que era o capim com maior média de altura. A forrageira tipo Basilisk, que exibiu as maiores médias tanto para o volume escoado quanto para produção de sedimentos, além de se mostrar o capim com menor altura, também apresentou inclinação do terreno superior aos verificados nas parcelas de Quênia. No caso do Zuri, o que pareceu influenciar mais nos resultados foram os componentes com relação direta, como foi o caso da baixa cobertura vegetal que permitiu um elevado escoamento superficial da chuva, mas que no entanto, produziu poucos sedimentos, que pode ter sido influência da inclinação do terreno ter sido inferior às verificadas nas áreas das demais forrageiras.

4.3 CÁLCULO DA USLE

4.3.1 FATOR DE EROSIVIDADE (R)

O trabalho foi realizado durante seis meses (Janeiro de 2017 à Junho de 2017), porém, como o cálculo da erosividade considera como variável as médias pluviométricas, foram estimados além do fator R para esse semestre, o fator R para todo o ano de 2017 e também um fator R considerando as médias de precipitação históricas registradas entre 1961 a 1990.

O valor da erosividade referente ao período do experimento, ou seja, do primeiro semestre de 2017, foi de 362,11 MJ mm ha⁻¹ h⁻¹. Os valores de R referentes ao ano todo de 2017 e às médias históricas foram 483,04 MJ mm ha⁻¹ h⁻¹ e 671,83 MJ mm ha⁻¹ h⁻¹ respectivamente. Segundo as classes de interpretação para erosividade (Da Silva *et al.*, 2007), valores de R inferiores a 2452 MJ mm ha⁻¹ h⁻¹ podem ser considerados “erosividade fraca”, ou seja, os três resultados encontrados para o fator R sugerem que a erosividades foi fraca para todos os períodos considerados.

4.3.2 PERDA DE SOLO MÉDIA (A)

Definidas todas as variáveis, foi então estimada a perda de solo média através da USLE. Foram estimados os valores de perda para cada tipo de capim durante três períodos: o primeiro semestre de 2017, o ano de 2017 todo e, finalmente, a média histórica de 1961-1990 (Tabela 11).

Tabela 11 – Quantidade estimada de sedimentos arrastados em três intervalos de tempo distintos, para os três tipos de capins estudados

	Primeiro Semestre de 2017 (t ha ⁻¹ semestre ⁻¹)	Ano de 2017 inteiro (t ha ⁻¹ ano ⁻¹)	Média histórica 1961-90 (t ha ⁻¹ ano ⁻¹)
<i>P. maximum</i> cv. Zuri	0,026597135	0,035479650	0,049345667
<i>B. decumbens</i> cv. Basilisk	0,040086216	0,053473612	0,074371960
<i>P. maximum</i> cv. Quênia	0,035300076	0,047089069	0,065492234

Entre as estimativas de perda de solo para o ano de 2017 e o que se é esperado com a partir das médias históricas, foi possível identificar que em 2017 a perda de solo estimada foi 28,1% inferior ao considerado esperado a partir das normais climatológicas do Brasil para a região de Coronel Pacheco (Ramos, Santos e Fortes, 2009). Esse déficit fica mais evidente quando observado na Figura 30.

Comparação das estimativas de perda de solos (t ha⁻¹ ano⁻¹)

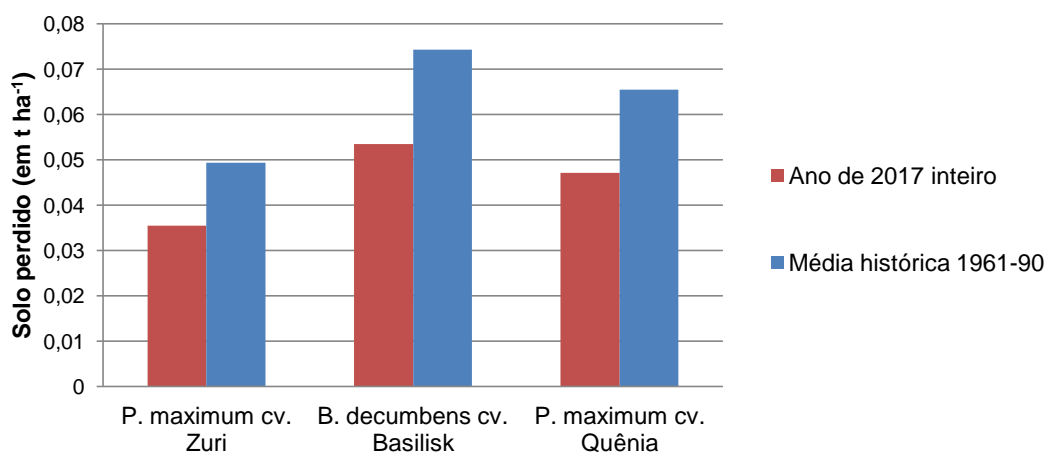


Figura 27 – Gráfico comparando as perdas de solo estimadas para os três tipos de capins utilizados no experimento

4.3.3 COMPARAÇÃO ENTRE PERDAS DE SOLO OBSERVADA E ESTIMADA

Os valores de perda de solo estimados para o primeiro semestre de 2017 foram confrontados com os valores medidos “*in loco*”, ou seja, os sedimentos coletados nas parcelas experimentais, a fim de verificar se a utilização da USLE como ferramenta para estimar perda de solo apresenta resultados próximos ao que foi medido. Na Tabela 12 podem-se examinar os valores da perda de solo para o semestre, reais e estimados, para as três forrageiras.

Tabela 12 – Valores de perda de solo, real e estimada, para os três tipos de capins estudados

	Perda de solo observada (t ha ⁻¹ semestre ⁻¹)	Perda de solo estimada (t ha ⁻¹ semestre ⁻¹)
<i>P. maximum</i> cv. Zuri	0,011559	0,026597
<i>B. decumbens</i> cv. Basilisk	0,038402	0,040086
<i>P. maximum</i> cv. Quênia	0,015419	0,035300

Os valores estimados foram superiores aos valores coletados *in loco*, porém, com relação à braquiária, o resultado foi mais próximo ao real. Porém, no caso das *P. maximum*, o resultado do modelo foi superestimado, sendo mais que o dobro em ambos (aproximadamente 2,3 vezes do valor real). Essa variação entre valor amostrado e o valor estimado, para o mesmo período, pode ser visualizado de forma mais clara no gráfico abaixo (Figura 31).

Comparação entre a perda de solo observada e estimada pela USLE (t ha⁻¹ semestre⁻¹)

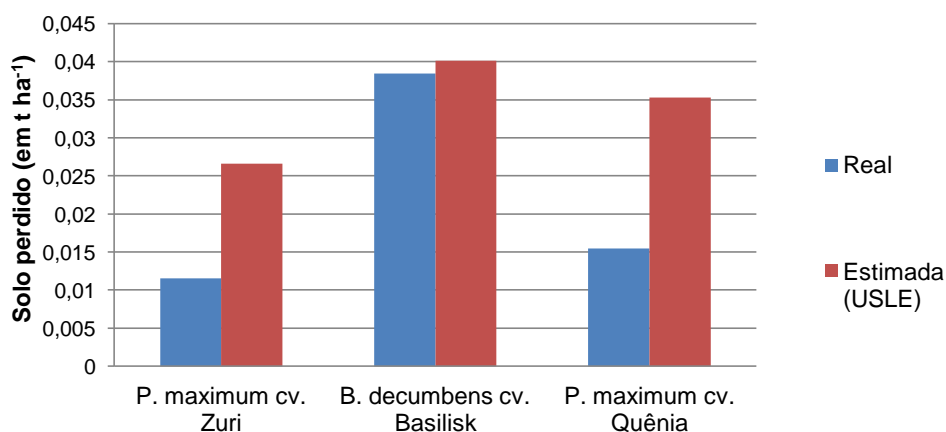


Figura 28 – Comparação entre as perdas de solo, real e estimada, referentes ao período entre janeiro e junho de 2017, para três tipos de forrageiras

Todos os valores encontrados neste experimento foram consideravelmente inferiores aos valores encontrados na literatura, seja considerando o tipo de solo, entre 9,6 e 14,2 t ha⁻¹ ano⁻¹ para a classe dos Latossolos Vermelhos Amarelos (Bertoni e Lombardi Neto, 2010), ou considerando outro trabalho realizado na mesma área, entre 9,99 e 37,12 t ha⁻¹ ano⁻¹ (Carvalho, 2012). Isto possivelmente foi causado pela influência do regime de chuvas atípico que ocorreu no ano de 2017.

5 CONCLUSÃO

O ano de 2017 teve um regime de chuvas atípico, apresentando volumes muito inferiores ao que se espera o que influenciou no experimento diretamente no número de coletas e de amostras.

Comparando as perdas de solo anuais, foi possível verificar que o ano de 2017 apresentou um déficit de 28,1% em relação à perda de solo esperada, segundo as médias históricas de precipitação.

A análise multivariada utilizando somente os componente físicos foi capaz de explicar 65% da variância e identificou a altura do capim como o componente que maior interferencia na produção de sedimentos e no escoamento superficial da água.

Com relação à comparação entre as perdas de solo reais e estimadas pela USLE, houve diferenças entre os capins. Enquanto para a *Brachiária decumbens* a estimativa se mostrou bem próxima do valor real, para as cultivares de *Panicum maximum* o modelo superestimou as perdas de solo em mais que o dobro dos valores reais.

6 REFERÊNCIAS

AMORIM, Ricardo Santos Silva. **Avaliação dos modelos de predição da erosão hídrica USLE, RUSLE e WEPP para condições edafoclimáticas brasileiras**. Tese (Doutorado em Engenharia Agrícola) – Universidade Federal de Viçosa, Viçosa, 2004. 120p.

AMORIM, R. S. S.; SILVA, D. D.; PRUSKI, F. F. Principais modelos para estimar as perdas de solo em áreas agrícolas. **Conservação de solo e água: Práticas mecânicas para o controle da erosão hídrica**, v. 2, p. 74-107, 2009.

ARAGÃO, Ricardo et al. Mapeamento do potencial de erosão laminar na Bacia do Rio Japarutuba, SE, via SIG. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, v. 15, n. 7, p. 731-741, 2011.

BAPTISTA, G. M. de M. Diagnóstico ambiental de erosão laminar: modelo geotecnológico e aplicação. Brasília: **Universa**, p. 101, 2003.

BARRETTO, A. G. O. P.; BARROS, M. G. E.; SPAROVEK, G. Bibliometria, história e geografia da pesquisa brasileira em erosão acelerada do solo. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v.32, pp. 2443-2460, 2008.

BERTONI, J.; LOMBARDI NETO, F. **Conservação do Solo**. São Paulo: Ícone, 2010.

CABRAL, C. E. A.; AMORIM, R. S. S.; DORES, E. F. G. C.; SILVA, E. M. B. Estimativa de perda de solo em sistemas de cultivo em lavouras de algodão. **Enciclopédia Biosfera**, v. 6, n.11, 2010.

CARVALHO, Anne Caroline Barbosa de. **Avaliação da perda de solo por fluxo superficial em cultivos puro e consorciado**. Dissertação (Mestrado em Ecologia) – Universidade Federal de Juiz de Fora, Juiz de Fora, 2012. 91p.

DA SILVA, Alexandre Marco et al. Estudo integrado do processo erosivo numa microbacia experimental localizada no município de Cunha–SP. **Geociências (São Paulo)**, v. 24, n. 1, p. 43-53, 2007.

GUERRA, Antonio Teixeira; DA SILVA, Antonio Soares; BOTELHO, Rosângela Garrido Machado. **Erosão e conservação dos solos: conceitos, temas e aplicações**. Rio de Janeiro: Bertrand Brasil, 2009.

HOWELER, R. H. et al. Strategic environmental assessment, an assessment of the impact of cassava production and processing on the environment and biodiversity. In: **Proceedings of the Validation Forum on the global Cassava Development Strategy**. 2001.

MARGOLIS, E.; CAMPOS FILHO, O. P. Determinação dos fatores da equação universal de perdas de solo num Podzólico Amarelo de Glória do Goitá. **Encontro Nacional sobre Conservação do Solo**, v. 3, p. 239-250, 1981.

MINGOTI, Rafael. **Produção de sedimentos em microbacias hidrográficas em função do relevo e da cobertura florestal**. Dissertação (Mestrado em Agronomia) - Universidade de São Paulo, Piracicaba, 2009. 101p.

PRUSKI, F. F. **Conservação de solo e água: Práticas mecânicas para o controle da erosão hídrica**. Viçosa: Ed. Viçosa, 2009.

RAMOS, Andrea Malheiros; DOS SANTOS, Luiz André Rodrigues; FORTES, Lauro Tadeu Guimarães (Ed.). **Normais climatológicas do Brasil, 1961-1990**. Instituto Nacional de Meteorologia - INMET, Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento - MAPA, 2009.

SILVA, Cátia Cristina Mofato Frade et al. Atributos morfofisiológicos e fitomassa de *Brachiaria decumbens* em um sistema silvipastoril. **Revista de Ciência da Vida**, v. 31, n. 2, pp. 87-95, 2011.

SILVA, A. L. Rainfall erosivity map for Brazil. **Catena**, v.57, n.3, pp.251-259, 2004.

SILVA, A. M.; SCHULZ, H. E.; CAMARGO, P.B. Erosão e hidrossedimentologia em bacias hidrográficas. São Carlos: **RiMa**, 2003.

SILVA, A. M.; MELLO, C. R.; CURI, N.; OLIVEIRA, P. M. Simulação da variabilidade espacial da erosão hídrica em uma sub bacia hidrográfica de Latossolos no Sul de Minas Gerais. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v.32, n.5, pp. 2125-2134, 2008.

STAVER, C. Cómo tener más hierbas de cobertura y menos malezas em nuestros cafetales? **Agroforestería en las Américas**, Turrialba, v. 8, n. 29, p. 30-32, 2001.

WISCHMEIER, W. H.; SMITH, D.D. **Predicting rainfall erosion losses: A guide planning**. Washington: USDA, 1978. (Handbook, 537).

7 RECOMENDAÇÕES FUTURAS

A pegada hídrica é uma metodologia versátil e útil para identificação do consumo de água nas cadeias de produção e pode ser uma aliada na tomada de decisões, tanto em instituições públicas, como privadas.

A metodologia é de fácil entendimento pode ser utilizada para sensibilização das massas, chamando atenção para a gestão da água. A possibilidade de ser incorporada nos rótulos de produtos pode estimular uma competição que seria benéfica para os recursos hídricos.

Quanto aos capins e o escoamento superficial e de sedimentos que apresentaram, seriam necessários mais análises e um maior gradiente de tempo para obter resultados mais conclusivos.

A continuação de estudos comparativos utilizando modelos de perda de solo se mostra imprescindível para seu aperfeiçoamento.

APÊNDICE 1

Análise química das amostras de água coletadas após escoamento superficial de precipitações naturais entre Janeiro de 2017 até Junho de 2017. Fonte: CSL Laboratório de Análises Ambientais

Data	Parcela	pH	O.D. (mg/L)	Condutividade (µS/cm)	DQO (mg/L)	Carb.Org Tot. (mg/L)	DBO (mg/L)	P total (mg/L)	N total (mg/L)	K (mg/L)
07.02.2017	A1	8,03	8,13	41	20	16,8	5	0,37	<1	6,4
07.02.2017	A2	8,30	7,50	94,3	21	<1,0	3	<0,01	<1	2,5
07.02.2017	A3	8,46	6,96	179,5	58	7,9	4	0,03	2,5	9,7
07.02.2017*	A4	8,30	4,34	152,8	133	25,8	12	0,29	9,2	12,5
07.02.2017	B1	8,90	6,80	14,9	36	8,3	<3	0,1	<1	2,3
07.02.2017	B2	8,49	6,41	102,5	54	10	7	0,08	6	5,1
07.02.2017	B3	8,24	6,84	102	80	9,9	3	0,89	5,1	6,4
07.02.2017*	B4	8,38	6,08	29,1	245	50,6	36	1,44	27,3	15,4
07.02.2017	C2	8,63	7,16	228	78	17,8	6	0,39	5,6	15,9
20.03.2017	A2	8,43	7,82	30,3	19	<2	<3	0,65	<1	1,7
20.03.2017	B1	7,11	7,19	173,2	77	17,7	4	0,55	6,6	16,1
20.03.2017*	B3	8,22	7,72	541,1	282	66,6	37	1,63	6,5	79,8
20.03.2017*	B4	8,24	5,71	505	252	68,6	17	1,49	7,2	55,2
10.04.2017	B1	7,35	7,49	105,8	58	<2	7	0,34	8,2	10,3
23.05.2017	A4	7,82	7,68	436	134	19,2	14	0,68	10	85,9
23.05.2017	C2	8,58	8,21	183,9	83	9,8	7	0,15	6,6	27,3

LEGENDA: Parcelas de A1 - A4: *P. maximum* cv. Zuri; Parcelas de B1 - B4: *Brachiaria decumbens* cv. Basilisk; e parcelas de C1 - C4: *P. maximum* cv. BRS Quênia. *Os dados em vermelho foram desconsiderados devido a presença de animais mortos que contaminaram a amostra

APÊNDICE 2

Análises da produção vegetal no dia 17 de abril de 2017

Produção Vegetal - 17 de Abril de 2017						
Parcela	Altura média (cm)	Massa total (g)	Cobertura do solo	Massa (antes da estufa)	Massa (seca)	Teor de Água (%)
A1	55	550	60%	176,77	26,95	84,75
A2	52	490	50%	161,6	24,49	84,85
A3	41	320	60%	155,52	31,72	79,60
A4	51	400	50%	178,34	34,08	80,89
B1	42	450	55%	143,82	30,33	78,91
B2	43	370	60%	127,74	28,18	77,94
B3	43	340	40%	123,9	24,97	79,85
B4	48	440	40%	136,87	29,94	78,13
C1	131	1000	50%	186,01	34,35	81,53
C2	117	1890	50%	255,29	39,95	84,35
C3	76	550	50%	172,11	33,67	80,44
C4	53	450	40%	113,14	23,91	78,87

LEGENDA: Parcelas de A1 - A4: *P. maximum* cv. Zuri; Parcelas de B1 - B4: *Brachiaria decumbens* cv. Basilisk; e parcelas de C1 - C4: *P. maximum* cv. BRS Quênia

Análises da produção vegetal no dia 17 de abril de 2017

Produção Vegetal - 23 de maio de 2017						
Parcela	Altura média (cm)	Massa total (g)	Cobertura do solo	Massa (antes da estufa)	Massa (seca)	Teor de Água (%)
A1	55	620	60%	131,91	33,57	74,55
A2	76	620	70%	136,77	42,21	69,14
A3	47	120	50%	82,04	26,35	67,88
A4	49	400	65%	180,09	43,88	75,63
B1	55	530	85%	127,24	37,94	70,18
B2	39	290	90%	102,07	29,66	70,94
B3	51	390	80%	122,95	35,33	71,26
B4	49	420	80%	102,31	31,83	68,89
C1	94	840	70%	176,67	51,11	71,07
C2	96	630	70%	126,69	37,69	70,25
C3	71	370	55%	110,67	33,23	69,97
C4	47	180	45%	88,49	29,62	66,53

LEGENDA: Parcelas de A1 - A4: *P. maximum* cv. Zuri; Parcelas de B1 - B4: *Brachiaria decumbens* cv. Basilisk; e parcelas de C1 - C4: *P. maximum* cv. BRS Quênia

APÊNDICE 3

Medidas da inclinação do terreno onde se localizavam as parcelas experimentais

Inclinação do Terreno				
Parcela	H1 (cm)	H2 (cm)	Comp. (m)	Inclinação (%)
A1	102,2	168,2	3	22,00
A2	102,2	168,4	3	22,07
A3	88,4	159,0	3	23,53
A4	97,0	165,8	3	22,93
B1	70,0	155,0	3	28,33
B2	70,0	153,3	3	27,77
B3	80,0	163,0	3	27,67
B4	77,0	168,4	3	30,47
C1	100,0	166,2	3	22,07
C2	93,4	163,0	3	23,20
C3	70,0	167,3	3	32,43
C4	70,0	156,0	3	28,67

LEGENDA: Parcelas de A1 - A4: *P. maximum* cv. Zuri; Parcelas de B1 - B4: *Brachiaria decumbens* cv. Basilisk; e parcelas de C1 - C4: *P. maximum* cv. BRS Quênia

APÊNDICE 4

Volume de água e quantidade de sedimentos que escoaram superficialmente pelas parcelas experimentais após chuvas naturais

Parcela	11/jan		17/jan		08/fev		20/mar		10/abr		23/mai		Médias	
	Vol(L)	Sed(g)	Vol(L)	Sed(g)	Vol(L)	Sed(g)	Vol(L)	Sed(g)	Vol(L)	Sed(g)	Vol(L)	Sed(g)	Vol(L)	Sed(g)
A1	12,0	4,80	10,0	3,02	9,5	5,57	2,0	3,61	3,0	3,98	0,0	-	6,08	4,46
A2	17,0	3,32	35,0	3,36	40,0	6,97	40,0	6,03	1,0	2,97	0,0	-	22,17	4,53
A3	10,0	6,24	3,0	3,80	11,0	12,09	1,0	2,36	0,0	-	3,0	4,12	4,67	5,72
A4	3,0	2,34	0,0	-	15,0	5,53	0,0	-	2,0	2,01	30,0	8,75	8,33	4,66
B1	20,0	11,84	20,0	5,70	45,0	47,35	25,0	17,79	20,0	9,98	0,0	-	21,67	18,53
B2	10,0	5,59	10,0	4,27	15,0	6,53	1,5	2,88	2,0	3,72	0,0	-	6,42	4,60
B3	15,0	9,89	12,0	3,66	15,0	134,19	7,0	5,34	1,0	3,47	0,0	-	8,33	31,31
B4	15,0	18,11	12,0	5,33	11,0	4,73	7,0	3,85	2,0	2,99	0,0	-	7,83	7,00
C1	10,0	28,89	3,0	7,85	1,0	6,04	0,0	-	0,0	-	1,0	5,79	2,50	12,14
C2	10,0	6,33	5,0	3,69	4,0	9,28	2,5	6,01	1,0	1,98	28,0	11,66	8,42	6,49
C3	8,0	8,44	5,0	3,80	2,5	8,81	0,0	-	0,0	-	0,0	-	2,58	7,02
C4	9,0	6,03	5,0	4,68	1,0	4,07	0,0	-	0,0	-	0,0	-	2,50	4,93
Chuva Acum. (mm)	65,4		63,2		29		51,6		57,4		43,6		51,7	

LEGENDA: Parcelas de A1 - A4: *P. maximum* cv. Zuri; Parcelas de B1 - B4: *Brachiaria decumbens* cv. Basilisk; e parcelas de C1 - C4: *P. maximum* cv. BRS Quênia. Células contendo (-) indicam que não havia material a ser coletado

APÊNDICE 5

Tabela de resultados da Análise dos Componentes Principais (PCA), considerando os parâmetros físicos e químicos das amostras coletadas por tipo de capim

AMOSTRA	PC1	PC2
A1	-0,479692	-0,7651
A2	-1,115658	-0,2514
A3	-0,425987	-0,5797
A4	0,672881	-0,2528
B1	-0,910279	1,3481
B2	-0,416467	1,4604
B3	-0,009048	0,4116
B4	2,496912	0,5938
C2	0,187338	-1,9647

LEGENDA: Parcelas de A1 - A4: *P. maximum* cv. Zuri; Parcelas de B1 - B4: *Brachiaria decumbens* cv. Basilisk; e parcela C2: *P. maximum* cv. BRS Quênia

Tabelas de resultados da Análise dos Componentes Principais (PCA), considerando os parâmetros físicos e químicos das amostras coletadas por parâmetro

PARÂMETRO	PC1	PC2
Oxigênio Dissolvido	-0.46583	-0.242983
DQO	0.90536	0.097315
Carbono Organico Total	0.89240	0.005342
DBO	0.86419	0.152384
Fósforo Total	0.78177	0.071552
Nitrogênio Total	0.89107	0.162378
Potássio Total	0.73218	-0.477909
Inclinação do Terreno	0.23485	0.771392
Altura do capim	-0.01852	-0.702934
Cobertura do solo	-0.26280	0.643553
Volume de água escoado	-0.47345	0.450978

APÊNDICE 6

Tabelas de resultados da Análise dos Componentes Principais (PCA), considerando apenas os parâmetros físicos das amostras coletadas por tipo de capim

AMOSTRA	PC1	PC2
A1	-0.3417	0.3298
A2	0.1506	1,0969
A3	-0.1299	0.2749
A4	-0.1713	0.4364
B1	1,4013	0.5919
B2	0.8593	0.5139
B3	1,1871	-1,0563
B4	0.2314	-0.4485
C1	-1,2337	0.4163
C2	-1,0771	0.4398
C3	-0.4458	-1,0041
C4	-0,4301	-1,5912

LEGENDA: Parcelas de A1 - A4: *P. maximum* cv. Zuri; Parcelas de B1 - B4: *Brachiaria decumbens* cv. Basilisk; e parcelas de C1 - C4: *P. maximum* cv. BRS Quênia

Tabelas de resultados da Análise dos Componentes Principais (PCA), considerando apenas os parâmetros físicos das amostras coletadas por parâmetro

PARÂMETRO	PC1	PC2
Inclinação do terreno	0.7238	-0.7731
Altura do capim	-0.9031	0.2297
Cobertura do solo	0.6259	0.8211
Volume de água escoado	0.8299	0.6435
Produção de sedimentos	0.7388	-0.3802

APENDICE 7



Material no local para instalação das parcelas experimentais



Capina e instalação das parcelas experimentais



Assentamento da terra para passagem do cano direcionador do escoamento superficial



Parcelas experimentais instaladas sem a caixa coletora de material



Manuseio e limpeza da caixa coletora de material durante uma das coletas