



UNIVERSIDADE FEDERAL DO ESPÍRITO SANTO  
CENTRO DE CIÊNCIAS AGRÁRIAS E ENGENHARIAS  
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM CIÊNCIAS FLORESTAIS

**MARIA SUELIANE SANTOS DE ANDRADE**

**PEGADA HÍDRICA VERDE NO ESPÍRITO SANTO**

JERÔNIMO MONTEIRO – ES

2017

MARIA SUELIANE SANTOS DE ANDRADE

**PEGADA HÍDRICA VERDE NO ESPÍRITO SANTO**

Dissertação apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Ciências Florestais do Centro de Ciências Agrárias e Engenharias da Universidade Federal do Espírito Santo, como parte das exigências para obtenção do Título de Mestre em Ciências Florestais na Área de Concentração Ciências Florestais. Orientador: Sidney Sara Zanetti  
Co-orientador: Roberto Avelino Cecílio

JERÔNIMO MONTEIRO – ES

2017

Dados Internacionais de Catalogação-na-publicação (CIP)  
(Biblioteca Setorial de Ciências Agrárias, Universidade Federal do Espírito Santo, ES, Brasil)

---

A553p      Andrade, Maria Sueliane Santos de, 1990-  
             Pegada hídrica verde no Espírito Santo / Maria Sueliane Santos de  
             Andrade. – 2017.  
             67 f. : il.

Orientador: Sidney Sara Zanetti.

Coorientador: Roberto Avelino Cecílio.

Dissertação (Mestrado em Ciências Florestais) – Universidade  
Federal do Espírito Santo, Centro de Ciências Agrárias e Engenharias.

1. Recursos hídricos. 2. Indicador de consumo. 3. Gestão da água.  
I. Zanetti, Sidney Sara. II. Cecílio, Roberto Avelino. III. Universidade  
Federal do Espírito Santo. Centro de Ciências Agrárias e Engenharias.  
IV. Título.

CDU: 630

---

**PEGADA HÍDRICA VERDE NO ESTADO DO ESPÍRITO SANTO**

**Maria Sueliane Santos de Andrade**

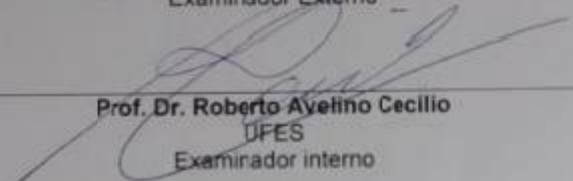
Dissertação apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Ciências Florestais do Centro de Ciências Agrárias e Engenharias da Universidade Federal do Espírito Santo, como parte das exigências para obtenção do Título de Mestre em Ciências Florestais na Área de Concentração Ciências Florestais.

Aprovada em 17 de março de 2017.



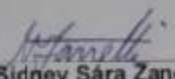
---

**Prof. Dr. João Paulo Beteste de Oliveira**  
IFES  
Examinador Externo



---

**Prof. Dr. Roberto Avelino Cecilio**  
UFES  
Examinador interno



---

**Prof. Dr. Sidney Sara Zanetti**  
UFES  
Orientador

## **AGRADECIMENTOS**

Agradeço à Deus pelo dom da vida e por me dar forças nos momentos em que pensei em desistir.

Ao meu orientador Sidney Sara Zanetti, que transmitiu conhecimentos através das disciplinas ministradas, suas orientações e para a execução desse projeto. Obrigada pela contribuição da minha formação acadêmica e profissional.

Aos demais professores do PPGCFL-UFES pelos conhecimentos transmitidos através das disciplinas cursadas.

À Universidade Federal do Espírito Santo, por meio do Departamento de Ciências Florestais e da Madeira, pela execução do mestrado.

A empresa Fibria, pelo financiamento da minha bolsa durante o período de mestrado.

Aos meus pais Maria José e Cláudio por me ensinarem a ser uma pessoa melhor, buscando sempre aperfeiçoamento na vida. E por me apoiarem, mesmo distantes fisicamente, nos momentos mais difíceis do mestrado.

A minha sobrinha Alana, pelo amor e afeto transmitido, trazendo forças nos momentos de tristeza e desânimo. Aos meus irmãos Suelen e Cláudio, pelo carinho.

Aos amigos do laboratório, Alessandra, Ana Paula, Carlos, Elvis, Fabrina, Francielle, Giselle, Kaíse, Laís, Marks, Natália, Rafael, Regiane, Rosane, Stefania, Tamires e Telma, pelo companheirismo e por todo apoio nos estudos, ajudando na minha formação profissional. E principalmente pelo carinho e amizade transmitido nestes dois anos.

À família de coração, Izonete, Denis, Rafael e Gustavo, por me apoiarem com muito amor aqui em Jerônimo Monteiro. E todas as amigas que aqui construí.

Ao Sandro, pela atenção, apoio e companheirismo durante estes dois anos de distância. Ao meu amigo Kélisson pelo carinho e atenção, me motivando sempre.

Por fim, agradeço a todos que direta ou indiretamente contribuíram para a realização do mestrado e deste projeto.

“A mente que se abre a uma nova ideia jamais voltará ao seu tamanho original.”  
(Albert Einstein)

## RESUMO

ANDRADE, Maria Sueliane Santos. Pegada hídrica verde no Espírito Santo. 2017. Dissertação (Mestrado em Ciências Florestais) – Universidade Federal do Espírito Santo, Jerônimo Monteiro – ES. Orientador: Prof. Dr. Sidney Sara Zanetti. Co-orientador: Prof. Dr. Roberto Avelino Cecílio.

A pegada hídrica é um conceito relativamente novo de apropriação da água doce que considera o seu uso direto e indireto por um consumidor ou produtor, sendo usada como um indicador abrangente da apropriação de recursos hídricos. O presente estudo teve como objetivo estimar a pegada hídrica verde e avaliar a sua sustentabilidade no estado do Espírito Santo. A contabilização da pegada hídrica verde total foi estimada com base no Manual de Avaliação da Pegada Hídrica e por meio das informações de uso da terra no estado. A avaliação da sustentabilidade da pegada hídrica verde foi calculada por meio dos indicadores de escassez de água. O total da pegada hídrica verde foi estimado pelo somatório das pegadas hídricas verdes da pastagem, floresta, café, silvicultura e outros usos agrícolas. Os usos da terra encontrados com mais representatividade, cobrindo 82,3% da área do estado, foram: pastagem (46,0%), incluindo a classe macega (4,3%); mata nativa (21,9%), incluindo vegetação em estágio inicial de regeneração (6,3%) e restinga (0,3%); cafeicultura (8,6%); e eucalipto (5,8%). A pegada verde total estimada foi de 47 bilhões de m<sup>3</sup>/ano, sendo que a classe pastagem representou 49% deste consumo, floresta 30%, café 10%, silvicultura 6%, e outros cultivos agrícolas apenas 5%. A avaliação da sustentabilidade ambiental da pegada verde apresentou-se insustentável em seis meses do ano, principalmente nos meses de maio a setembro, com índice de escassez de água verde mais alto no mês de junho.

**Palavras-chave:** recursos hídricos, indicador de consumo, gestão da água.

## ABSTRACT

ANDRADE, Maria Sueliane Santos. Green water footprint in Espírito Santo. 2017. Dissertation (Master's degree on Forest Science) – Federal University of Espírito Santo, Jerônimo Monteiro – ES. Advisor: Prof. Dr. Sidney Sara Zanetti. Co-advisor: Prof. Dr. Roberto Avelino Cecílio.

The water footprint is a relatively new concept of freshwater appropriation that considers its direct and indirect use by a consumer or producer and is used as a comprehensive indicator of the appropriation of water resources. The present study aimed to estimate the green water footprint and evaluate its sustainability in the state of Espírito Santo. The calculation of the total green water footprint was estimated based on the Water Footprint Assessment Manual and using the land use information in the state. The assessment of the sustainability of the green water footprint was calculated using indicators of water scarcity. The total green water footprint was estimated by the sum of the green water footprints of pasture, forest, coffee, forestry and other agricultural uses. The most representative land uses, covering 82.3% of the state area, were: pasture (46.0%), including macega (4.3%); native forest (21.9%), including initial regeneration stage (6.3%) and restinga (0.3%); coffee (8.6%); and eucalyptus (5.8%). The total green footprint estimated was 47 billion m<sup>3</sup>/year, and the pasture class represented 49% of this consumption, forest 30%, coffee 10%, forestry 6%, and other agricultural crops only 5%. The environmental sustainability assessment of the green footprint was unsustainable for most of the year, on average, mainly in the months of May to September, with the highest green water scarcity index in June.

**Keywords:** water resources, consumption indicator, water management.

## SUMÁRIO

|                                                                    |    |
|--------------------------------------------------------------------|----|
| 1 INTRODUÇÃO .....                                                 | 7  |
| 2 OBJETIVOS. ....                                                  | 9  |
| 3 REVISÃO DE LITERATURA .....                                      | 10 |
| 3.1 Pegada hídrica.....                                            | 10 |
| 3.1.1 Pegada hídrica azul.....                                     | 11 |
| 3.1.2 Pegada hídrica cinza.....                                    | 12 |
| 3.1.3 Pegada hídrica verde .....                                   | 13 |
| 3.2 Pegada hídrica de culturas agrícolas e florestais .....        | 15 |
| 3.3 Análise de sustentabilidade da pegada hídrica.....             | 17 |
| 4 METODOLOGIA.....                                                 | 20 |
| 4.1 Descrição da área em estudo .....                              | 20 |
| 4.2 Levantamento do uso da terra no estado do Espírito Santo ..... | 20 |
| 4.3 Contabilização da pegada hídrica verde.....                    | 22 |
| 4.3.1 Dados de precipitação e evapotranspiração utilizados .....   | 22 |
| 4.3.2 Cálculo do balanço hídrico climatológico .....               | 26 |
| 4.3.3 Cálculo da pegada hídrica verde.....                         | 30 |
| 4.3 Avaliação da sustentabilidade da pegada hídrica verde .....    | 30 |
| 5. RESULTADOS E DISCUSSÕES .....                                   | 32 |
| 5.1 Usos da terra no estado do Espírito Santo .....                | 32 |
| 5.2. Pegada hídrica verde total do Espírito Santo.....             | 45 |
| 5.3 Sustentabilidade da pegada hídrica verde.....                  | 57 |
| 6. CONCLUSÕES .....                                                | 60 |
| REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS .....                                   | 61 |
| APÊNDICE A.....                                                    | 65 |
| APÊNDICE B.....                                                    | 67 |

## 1 INTRODUÇÃO

A água é um recurso natural de domínio público, e indispensável para a manutenção da vida. A disponibilidade da água doce no planeta vem sendo afetada por ações do homem, como: uso e ocupação do solo desordenados, uso indiscriminado da água, contaminação hídrica e remoção de mata ciliar. Estes fatores estão causando impactos na quantidade e nas características físicas, químicas e biológicas deste recurso. Juntamente com os efeitos das mudanças climáticas, este problema resulta, nos dias atuais, crises de abastecimento em diversas partes do mundo.

A sociedade necessita buscar o desenvolvimento econômico que não agrida o meio ambiente, aumentando os estudos, projetos, planos e programas que permitam o uso dos recursos naturais envolvendo os aspectos econômicos, sociais e ambientais. Ferramentas e indicadores vêm sendo utilizados para uma melhor gestão dos recursos hídricos. A pegada hídrica, ou no inglês *Water Footprint*, é um indicador da apropriação da água, que possibilita quantificar tanto o uso direto, como o uso indireto por um consumidor ou um determinado produto. Este é considerado um indicador mais abrangente de apropriação dos recursos hídricos, que se diferencia do conceito tradicional e restrito de captação (consumo) da água, por também abordar a quantidade necessária para a diluição dos poluentes (HOEKSTRA et al., 2011).

O indicador pegada hídrica apresenta diversas aplicações, desde o cálculo para processos, produtos, grupo de consumidores, empresas, até a quantificação para uma área específica (país, estado, município, bacias hidrográficas etc.). Além desse conhecimento de quantidade da água apropriada, possibilita a análise da sustentabilidade do uso deste recurso natural.

Este indicador separa o consumo da água em três componentes, água azul, verde e cinza. A pegada hídrica azul está relacionada com o consumo de água doce superficial ou subterrânea. A pegada hídrica verde é o uso da água da precipitação que não escoar, aquela que permaneceu no solo ou na vegetação temporariamente. A pegada hídrica cinza é o volume de água necessário para diluir um poluente específico.

Dentre os componentes da pegada hídrica, a água verde é o principal uso para a produção agrícola e florestal. Mekonnen e Hoekstra (2010) relatam que no período de 1996-2005 a pegada hídrica global 7404 bilhões (m<sup>3</sup>/ano) do setor de agricultura, sendo a pegada hídrica verde a mais expressiva, representando 78% da pegada total. Liu; Zehnder; Yang (2009) e Mekonnen e Hoekstra (2011) estimam que mais de 80% da pegada verde é destinada a produção agrícola global. Em relação à pegada hídrica de países, por exemplo, no Brasil a água verde representa 92% da pegada hídrica total utilizada pelo setor agrícola (MEKONNEN; HOEKSTRA, 2010). No Espírito Santo, Leal (2016), em estudo na bacia do rio Itapemirim, observou que água verde apresentou a maior contribuição, representando 92% da pegada hídrica total da bacia.

Schyns; Hoekstra; Booij (2015) afirmam que se faz necessário entender melhor a escassez da água verde para podermos gerenciá-la de forma mais adequada, visto que os estudos iniciais sobre esse assunto centralizaram suas investigações principalmente na água azul (VÖRÖSMARTY et al., 2000; RIJSBERMAN, 2006 ; WADA et al., 2011; HOEKSTRA et al., 2012). Observa-se, portanto, que avaliar o consumo de água verde para atividades agrícolas e florestais é de suma importância para o planejamento de recursos hídricos.

Existem vários trabalhos voltados à escala global deste indicador e poucos em escala regional e/ou local. Diante disto, considera-se importante e necessário realizar um estudo visando estimar e analisar a pegada hídrica verde em menores áreas, como as de estados ou bacias hidrográficas, bem como avaliar a sua sustentabilidade na produção agrícola e florestal, como é o caso do estado do Espírito Santo.

## 2 OBJETIVOS

Estimar a pegada hídrica verde e avaliar a sua sustentabilidade no estado do Espírito Santo.

Objetivos específicos:

- Obtenção das informações de uso da terra por município no estado do Espírito Santo;
- Estimar a evapotranspiração real mensal no estado do Espírito Santo;
- Estimar e analisar a pegada hídrica verde por município no estado do Espírito Santo;
- Estimar a sustentabilidade da pegada hídrica verde no estado do Espírito Santo.

### 3 REVISÃO DE LITERATURA

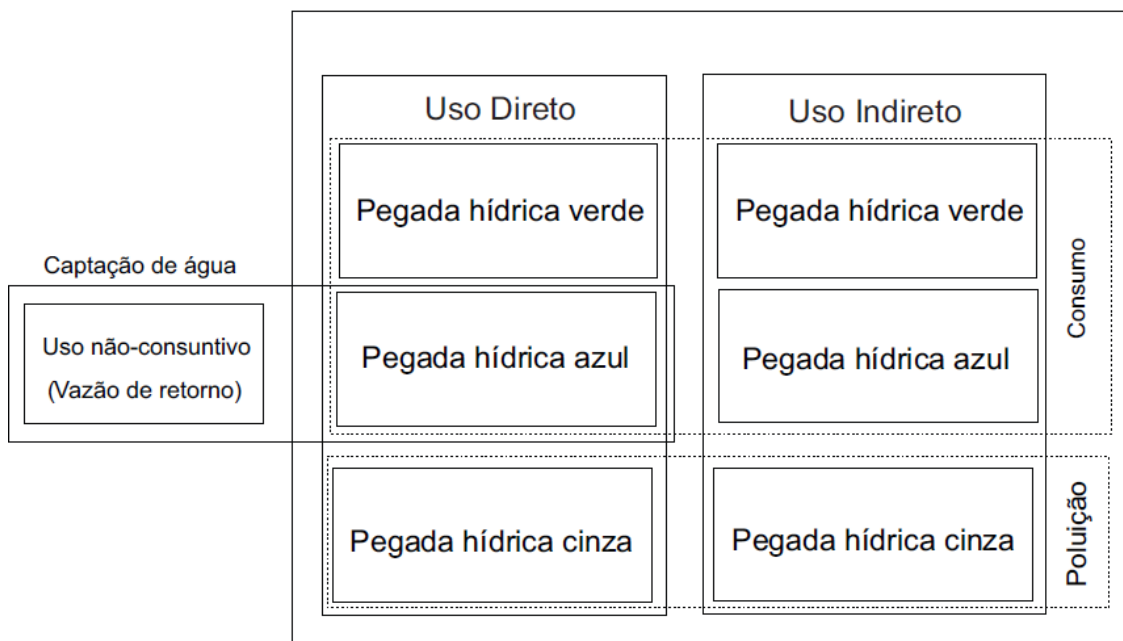
#### 3.1 Pegada hídrica

O termo pegada hídrica (PH) foi introduzido pelo professor Arjen Y. Hoekstra, em 2002, na Holanda, sendo um método que permite indicar o uso da água doce com base não apenas no uso direto, mas também no seu uso indireto por um consumidor ou produto. A pegada hídrica de um produto é o volume total de água utilizado nos processos de produção do mesmo. Esse indicador é multidimensional, o qual mostra os volumes de consumo de água por fonte e os volumes de poluição de acordo com o tipo de poluição, especificando geograficamente e temporalmente todos os componentes da pegada hídrica total (HOEKSTRA et al., 2011).

O conceito da pegada hídrica busca demonstrar como os recursos hídricos estão sendo manejados e as relações que ocorrem entre o homem e seu consumo de forma direta e indireta de água. Conhecendo esse uso da água em cada etapa de produção de bens ou produtos, pode-se ajudar a entender melhor o uso da água doce de caráter global, além de poder quantificar os efeitos causados pelo consumo e comércio sobre o uso dos recursos hídricos (HOEKSTRA et al., 2011).

A pegada hídrica azul de um produto é todo o consumo de água azul (superficial e subterrânea) no processo de produção. Esse “consumo” refere-se à perda de água (superficial e subterrânea) presente em uma bacia hidrográfica. A perda ocorre quando essa água evapora, desloca-se para outra bacia ou ao mar, ou é utilizada em um produto. A pegada hídrica verde se refere ao consumo de água de chuva, aquela que não escoar. A pegada hídrica cinza é relacionada à poluição, sendo definida como o volume de água doce utilizado para assimilar a carga de poluentes, isto de acordo com as concentrações naturais e de padrões normativos existentes de qualidade da água (Figura 1) (HOEKSTRA et al., 2011).

Figura 1 – Representação esquemática dos componentes da pegada hídrica.



Fonte: Adaptado de Hoekstra et al. (2011).

Assim, o cálculo da pegada hídrica total de um local, processo, produto ou ainda, de um indivíduo, cidade ou país, considera a soma dos três tipos de PH, a azul, a verde e a cinza, de acordo com o objetivo e o escopo do projeto a ser desenvolvido, delimitados de forma espacial e temporal (LEÃO, 2013; EMPINOTTI et al., 2013).

No Brasil, a temática pegada hídrica começou a ser discutida, a partir de 2009, por gestores de água representantes da *The Nature Conservancy* (Nova York) e *World Wide Found* (Suíça), com a iniciativa da *Alliance for Water Stewardship*. A partir disto, as organizações internacionais sediadas no Brasil iniciaram o trabalho de divulgação do tema pegada hídrica no país (EMPINOTTI e JACOBI, 2013).

### 3.1.1 Pegada hídrica azul

A pegada hídrica azul é um indicador do uso consuntivo de água azul (superficial e subterrânea). Esse uso consuntivo da água refere-se a um dos quatro casos: quando a água é evaporada; quando é incorporada em um produto; quando não retorna à mesma bacia hidrográfica; ou quando a água não retorna no mesmo período, sendo retirada no período de estiagem e retornando no período chuvoso (HOEKSTRA et al., 2011).

O uso consuntivo da água não significa que a água desaparece, pois a água continuará presente no ciclo hidrológico. Com isso, a pegada hídrica azul contabiliza a quantidade de água disponível utilizada em determinado período (água que não retorna imediatamente para a mesma bacia). Desta maneira, a quantidade de água azul consumida pelo homem é conhecida através dessa contabilização. O restante, que são os fluxos de água subterrânea e superficial, que não é destinado para atividades humanas, serve para a manutenção dos ecossistemas (HOEKSTRA et al., 2011).

A pegada hídrica azul é calculada da seguinte forma:

$$PH_{\text{azul}} = \text{Evaporação da água azul} + \text{Incorporação da água azul} + \text{Vazão de retorno perdida} \quad (1)$$

A vazão de retorno perdida se refere à porção do fluxo de retorno que não está disponível para o reuso dentro da mesma bacia hidrográfica, no mesmo período de retirada, devido ao seu desvio para outra bacia (ou mar) ou ter retornado em outro período. A incorporação é referente à água que foi assimilada ao produto. A unidade da pegada hídrica representa a relação entre o volume de água utilizado por unidade de tempo (dia, mês ou ano) (HOEKSTRA et al., 2011).

### 3.1.2 Pegada hídrica cinza

A pegada hídrica cinza é outro indicador que está relacionado com o grau de poluição da água ocorrido durante um processo. É definida como o volume de água necessário para a diluição dos poluentes, baseado nas concentrações naturais e nos padrões ambientais. Esse indicador surgiu pelo reconhecimento de que a

intensidade da poluição da água pode ser expressa por volume de água necessária para diluir os poluentes, de maneira que a concentração dos poluentes permaneça dentro dos padrões normativos existentes de qualidade da água (HOEKSTRA et al., 2011).

De acordo com Hoekstra et al. (2011), a pegada hídrica cinza é calculada por meio da divisão da carga do poluente ( $L$ , massa/tempo) pela diferença entre a concentração de qualidade da água presente no seu estado natural para um determinado poluente (a concentração máxima aceitável  $C_{\max}$ , em massa/volume) e sua concentração natural no corpo hídrico ( $C_{\text{nat}}$ , em massa/volume):

$$PH_{\text{cinza}} = L / (C_{\max} - C_{\text{nat}}) \quad (2)$$

A concentração natural no corpo hídrico se refere à concentração que ocorreria se não houvesse ação do homem na bacia hidrográfica. Quando as substâncias originárias pelo homem não ocorrem naturalmente na água, o  $C_{\text{nat}}$  é igual a zero. Quando não se tem conhecimento exato da quantidade dessas substâncias, como no caso da existência de valores baixos,  $C_{\text{nat}}$  pode ser considerado também igual a zero. Dessa forma, o valor da pegada hídrica cinza será subestimado, caso o  $C_{\text{nat}}$  não seja igual a zero (HOEKSTRA et al., 2011).

Segundo Hoekstra et al. (2011), os cálculos adotados para a pegada hídrica cinza utilizam padrões de qualidade da água em seu estado natural para o corpo hídrico receptor, ou seja, padrões relacionados com a quantidade máxima permitida. A pegada hídrica cinza busca determinar o volume de água dos rios, em seu estado natural, necessário para assimilação dos poluentes.

### 3.1.3 Pegada hídrica verde

De acordo com Hoekstra et al. (2011), a pegada hídrica verde é um indicador do uso da água verde pelo homem. A água verde se refere à precipitação que não escoar ou não irá repor a água subterrânea, mas é armazenada no solo (na zona radicular das plantas) ou na vegetação. Essa parte da precipitação é evaporada ou

é transpirada pelas plantas. A água verde pode ser produtiva, pois é utilizada para o crescimento das culturas, porém nem toda água verde pode ser absorvida pela cultura, pois sempre existe evaporação de água do solo, e porque nem todas as áreas ou períodos do ano são adequados para o crescimento das culturas.

Com isso, a pegada hídrica verde é o volume de água da chuva que foi utilizado durante o processo de produção vegetal. Isto é bastante importante para os produtos agrícolas e florestais, pois corresponde ao total de água da chuva que sofre evapotranspiração (dos campos ou plantações), mais a água que é assimilada nos produtos agrícolas e florestais colhidos. Assim, o cálculo da pegada hídrica verde é o seguinte:

$$PH_{\text{verde}} = \text{Evaporação de água verde} + \text{Incorporação de água verde} \quad (3)$$

O consumo da água verde na produção agrícola pode ser medido ou estimado através de fórmulas empíricas ou por um modelo de cultura adequado para estimar a evapotranspiração, utilizando dados climatológicos, dados do solo e características da cultura (HOEKSTRA et al., 2011).

A pegada hídrica verde calculada para produtos agrícolas e florestais representa volume de água por unidade de massa, sendo expresso em m<sup>3</sup>/ton ou litro/kg (HOEKSTRA et al., 2011).

A pegada hídrica verde para o setor de produtos agrícolas e florestais é muito relevante, pois a água verde em sua maior parte é utilizada para o processo de produção das culturas deste setor. Dessa forma, deve ser mais bem estudado o uso dessa água e seus níveis de escassez, pois em vários estudos, a problemática de escassez da água era somente centralizada na água azul, dando menos ênfase na água verde, sendo que a água verde também é escassa, além de ter um papel em manter a produção de culturas, pastagens, silvicultura e ecossistemas terrestres (SCHYNS; HOEKSTRA; BOOIJ 2015).

Leal (2016), em seu estudo, estimou e analisou as pegadas hídricas na bacia do rio Itapemirim, no estado do Espírito Santo. Em seus resultados, o componente água verde representou o maior consumidor de água doce dentro da bacia, com cerca de 92% do total da pegada hídrica.

Além do estudo citado anteriormente, os estudos mostram o grande uso da água verde, apresentando um papel importância na produção global agrícola principalmente. Mekonnen e Hoekstra (2011), analisou a pegada global em todos os países, e verificou que a água verde representa 86% da pegada hídrica global de produção, utilizada na produção agrícola. Os mesmos autores relatam que no Brasil a água verde representa 92% da pegada hídrica total utilizada pelo setor agrícola (MEKONNEN; HOEKSTRA, 2010).

Liu; Zehnder; Yang (2009) relatam que, em escala global, a pegada verde representa 80% da pegada hídrica total na produção agrícola. Mekonnen e Hoekstra (2010), analisando o período de 1996-2005, verificaram que a pegada global foi de 7.404 bilhões de m<sup>3</sup>/ano no setor agrícola, sendo a pegada hídrica verde a mais expressiva em relação as pegadas hídricas azul e cinza, representando 78% da pegada total.

### **3.2 Pegada hídrica de culturas agrícolas e florestais**

As aplicações do conceito pegada hídrica vem crescendo rapidamente, com muitos estudos publicados após o ano de 2007, quando se começou a discutir essa temática através de um estudo da disponibilidade de água ao longo prazo (EMPINOTTI e JACOBI, 2013), e sobretudo a partir de 2011, após a publicação do Manual de Avaliação da Pegada Hídrica (HOEKSTRA et al., 2011). Dentre esses estudos, existem trabalhos em escala global, nacional, regional, e em escala de bacias hidrográficas, além de estudos de culturas agrícolas e florestais (HOEKSTRA et al., 2011).

Hoekstra e Mekonnen (2012) estimaram a pegada hídrica por país com enfoque na produção e consumo. A média anual global da pegada hídrica no período entre 1996-2005 foi de 9,087 km<sup>3</sup>/ano, sendo a pegada hídrica verde equivalente a 74%, a azul 11% e a cinza 15%. A produção agrícola contribuiu com 92% da pegada hídrica global.

Chapagain e Hoekstra (2007) analisaram a pegada hídrica do café e chá consumido na Holanda. Neste estudo estimaram que, para consumir um copo padrão de café e chá na Holanda, são necessários cerca de 140 e 34 litros de água, respectivamente. Relataram também que as fontes mais importantes do café são o Brasil e a Colômbia, e de chá, a Indonésia, a China e o Sri Lanka. Nos cálculos relacionados aos diversos processos produtivos do café, os autores utilizaram dados do Brasil.

Silva et al. (2015) analisaram a pegada hídrica da cana-de-açúcar cultivada no estado da Paraíba. A pesquisa foi realizada para o primeiro ciclo de produção (cana-planta), sendo utilizado o método de balanço hídrico para calcular a evapotranspiração. Através dos resultados, evidenciaram que os valores da pegada hídrica verde e cinza diminuiriam à medida que ocorria o acréscimo na lâmina de irrigação. O inverso foi observado nos valores da pegada hídrica azul, que aumentaram quando se tinha incremento na lâmina de irrigação. Além disso, concluíram que a pegada hídrica da cana-de-açúcar, obtida utilizando o modelo CROPWAT, da Organização das Nações Unidas para Agricultura e Alimentação (FAO, 2010), superestimou os valores da pegada hídrica verde e azul, e subestimou os valores da pegada hídrica cinza, obtidos com base no balanço hídrico do solo.

Chapagain e Hoekstra (2011) fizeram uma avaliação global das pegadas hídricas verde, azul e cinza, da cultura do arroz nos países da China, Índia, Indonésia, Bangladesh, Vietnã, Mianmar, Filipinas, Brasil, Japão, EUA, Paquistão e Coreia R. Esses países juntos correspondem a 98% da produção mundial, em relação a uma produção global média anual do arroz de 592 milhões de toneladas, com rendimento de 4,49 toneladas por hectare, constatando-se que a pegada hídrica global da produção é de 784 km<sup>3</sup>/ano, sendo 48% referente à pegada hídrica verde, seguido da azul com 44% e 8% da cinza.

Van Oel e Hoekstra (2010) fizeram um estudo de análise da pegada hídrica da produção de papel produzidos nos países que apresentaram maior produção de celulose mundial. Essa análise estudou as fases de silvicultura e industrial da produção de papel, e considerou apenas o uso consuntivo da água verde e água azul. Além disso, não foi contabilizada a água cinza em nenhum processo produtivo do papel. A pegada hídrica do papel para impressão, tamanho A4, foi estimada entre 300 e 2.600 m<sup>3</sup>/ton. Esses valores estão relacionados com a utilização de

papel reciclado. Sem a reciclagem, esses valores se transformariam em 753 m<sup>3</sup>/ton (eucalipto do bioma tropical no Brasil) e 3.880 m<sup>3</sup>/ton (eucalipto do bioma subtropical na China) da pegada hídrica do papel. Os autores constataram que o maior consumo de água está vinculado a fase de silvicultura.

Empinotti et al. (2013) analisaram a contribuição da fração da pegada cinza na produção de celulose. Os dados analisados foram de uma indústria hipotética na bacia hidrográfica do Rio Paraíba do Sul, no Sudeste do Brasil. Os resultados demonstraram uma contribuição de até 55% da pegada cinza no valor total da pegada hídrica da celulose, complementando dessa forma os resultados obtidos por Van Oel e Hoekstra (2010).

Em outro estudo, realizado por UPM-Kymmene (2011), utilizando a metodologia de Van Oel e Hoekstra (2010), analisou-se as fases de silvicultura e industrial das unidades UPM Kaukas (Finlândia), UPM Pietarsaari (Finlândia) e UPM Fray Bentos (Uruguai), as quais são as maiores fornecedoras de celulose para UPM Nordland Papier (Alemanha). Além disso, o estudo considerou a água cinza dos processos produtivos e analisou a sustentabilidade da pegada hídrica. Na fábrica UPM Nordland Papier, a pegada hídrica relacionada aos tipos de papel WFC é de 20L/folha e WFU de 13L/A4. E em relação a decomposição percentual as pegadas hídricas azul, verde, e cinza se mostraram semelhante para ambos os produtos.

### **3.3 Análise de sustentabilidade da pegada hídrica**

A avaliação da sustentabilidade da pegada hídrica visa comparar a pegada hídrica de um processo em relação ao que determinada região consegue suportar de forma sustentável (HOEKSTRA et al., 2011). A sustentabilidade da pegada hídrica é baseada de acordo com os fatores de clima e os recursos hídricos de uma região. Com isso, uma localidade com grande disponibilidade hídrica tem uma pegada hídrica diferente daquela com escassez de água (MARACAJÁ et al., 2012).

Na análise de sustentabilidade da pegada hídrica deve-se considerar não apenas o tamanho da pegada, mas principalmente os impactos causados em um determinado local. Desta maneira, é possível fornecer uma orientação com mais clareza sobre quais partes da cadeia de abastecimento deve-se focar mais e as ações ambientais a se priorizar (MARACAJÁ et al., 2012).

A sustentabilidade da pegada hídrica avalia os impactos causados na água doce ocasionados pelo consumo dos produtos; com isso, analisa-se a “água embutida” nos produtos, ou seja, a água que é utilizada na sua cadeia de fornecimento e fabricação. Com essa informação, pode-se ajudar a quantificar e diminuir gastos da água doce (MARACAJÁ et al., 2012), sobretudo reduzindo os desperdícios.

Segundo Hoekstra et al. (2011), a avaliação da sustentabilidade da pegada hídrica deve ser realizada de acordo com as perspectivas ambiental, social e econômica, que são as bases do desenvolvimento sustentável. Pela perspectiva ambiental, significa que a pegada hídrica total não deve comprometer a disponibilidade hídrica (qualidade e quantidade) de água subterrânea e superficial para a manutenção da vida aquática na bacia hidrográfica em estudo.

Já em relação à perspectiva social, a abordagem deve ser de forma superficial sobre essa avaliação sustentável, sem descrever de forma clara como realizá-la. Assim, uma pegada hídrica é considerada socialmente sustentável quando não tiver o comprometimento ao acesso da água de maneira equitativa, para que sejam atendidas as necessidades humanas básicas (HOEKSTRA et al., 2011).

No aspecto econômico, é estabelecido que a água deve ser distribuída e utilizada de maneira eficiente economicamente, e que os benefícios econômicos de uma pegada hídrica devem exceder o custo total da pegada hídrica, incluindo as externalidades, custos com escassez de água e os custos de oportunidade (HOEKSTRA et al., 2011).

De acordo com Maracajá et al. (2012), os indicadores de sustentabilidade utilizados pela pegada hídrica baseiam-se na apropriação da água de bens e serviços, integrando o uso da água e da poluição na cadeia produtiva, indicando assim uma ligação entre o local e o consumo global dos recursos hídricos, aferindo

não só o uso da água azul, mas também o consumo da água verde e a produção da água cinza poluída.

Água Brasil (2014) avaliou a sustentabilidade da pegada hídrica verde e azul em diversas bacias hidrográficas (Cancã-Moinho/SP, Guariroba/MS, Pipiripau/DF e GO, Peruaçu/MG, Lençóis/SP, Igarapé Santa Rosa/AC e Longá/PI) através dos indicadores de escassez de água (EA). Os indicadores foram obtidos por meio da diferença entre a pegada e a disponibilidade de água durante o período anual. Para a avaliação da pegada cinza foi utilizado o indicador local referente ao nível de poluição da água (NPA), que mede o grau de poluição em uma bacia.

Segundo Hoekstra et al. (2011), o NPA é definido como a fração consumida da capacidade de assimilação de efluentes e é calculado pela razão entre o total das pegadas hídricas cinza e o escoamento real de uma bacia. Em relação à sustentabilidade, as pegadas hídricas verde e azul foram consideradas insustentáveis quando a demanda excedia a quantidade disponível de água mensal. Já a pegada cinza, foi considerada como insustentável quando a capacidade de assimilar os poluentes foi excedida totalmente, resultando em níveis de poluição hídrica que excedem os padrões de qualidade da água.

Leal (2016), em estudo para bacia do rio Itapemirim, avaliou a sustentabilidade das pegadas hídricas azul e verde por meio desses indicadores de escassez de água. Para a análise da sustentabilidade da pegada hídrica cinza foi usado também o nível de poluição da água. Os resultados indicaram que a pegada hídrica verde da bacia mostrou-se insustentável na maior parte do ano, enquanto as pegadas hídricas azul e cinza mostraram-se sustentáveis durante todo o ano.

## 4 METODOLOGIA

### 4.1 Descrição da área em estudo

A área em estudo compreende o estado do Espírito Santo, na região sudeste do Brasil, com um território de 46.052,64 km<sup>2</sup>, localizado entre as coordenadas 17°53'29" e 21°18'03" de latitude Sul e 39°41'18" e 41°52'45" de longitude Oeste. O estado abrange 78 municípios, com um contingente populacional de aproximadamente 3,930 milhões de habitantes (IBGE, 2015). De acordo com a classificação de Köppen, o estado possui quatro climas predominantes: Cwb (subtropical, com invernos secos e verões amenos); Cwa (subtropical, com invernos secos e verões quentes); Am (tropical úmido ou sub-úmido); e Aw (tropical, com invernos secos) (ALVARES et al., 2013).

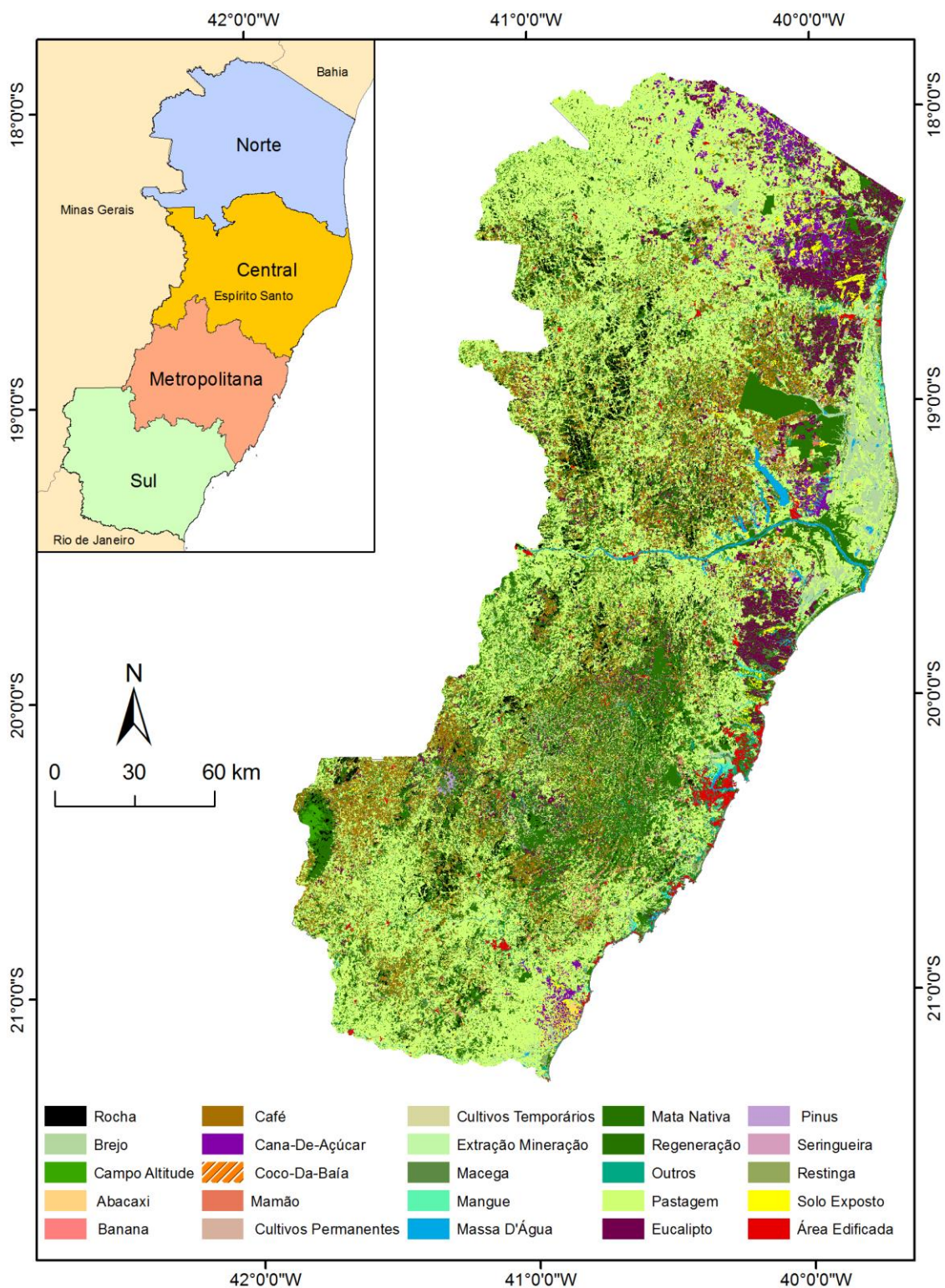
### 4.2 Levantamento do uso da terra no estado do Espírito Santo

O levantamento de uso da terra realizado neste estudo teve como base o ortofotomosaico, com resolução espacial de 1 metro, gerado a partir do levantamento aerofotogramétrico realizado no estado do Espírito Santo, nos anos de 2007/2008, pelo Instituto Estadual de Meio Ambiente e Recursos Hídricos (IEMA). Esse representa o último levantamento completo disponível da vegetação do estado, sobre o qual nenhum relatório foi publicado ainda.

A partir dessas imagens, a empresa Hiparc Geotecnologia realizou a fotointerpretação, gerando um arquivo vetorial (*Shapefile*) com a delimitação dos principais tipos de uso da terra no estado, contendo 25 classes.

Na Figura 2 é apresentado um exemplo dessa delimitação, a partir da qual, juntamente com o mapa oficial da divisão política do estado, foram computadas, para cada município, os tipos e áreas correspondentes de cada forma de uso da terra existente.

Figura 2 – Mapa de uso da terra, com as coberturas vegetais mapeadas do estado do Espírito Santo.



Fonte: Adaptado do Sistema Integrado de Bases Georreferenciadas do estado do Espírito Santo – GEOBASES e Instituto Estadual de Meio Ambiente e Recursos Hídricos – IEMA (2007/2008).

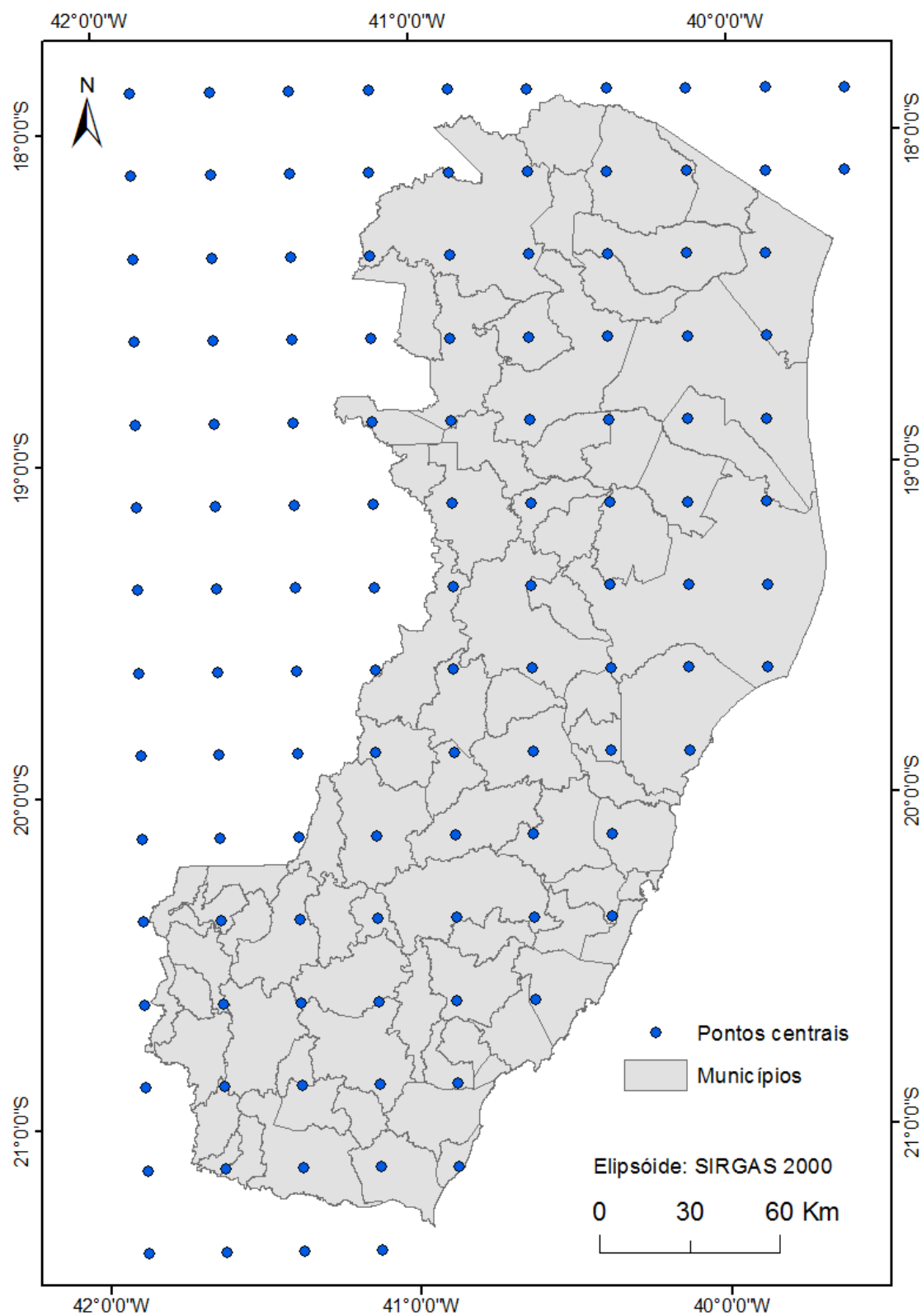
### 4.3 Contabilização da pegada hídrica verde

Para contabilização da pegada hídrica verde foi utilizada a metodologia estabelecida no Manual de Avaliação da Pegada Hídrica, elaborado por Hoekstra et al. (2011), adaptada para cada grupo de culturas avaliadas (floresta, pastagem, café, silvicultura, demais cultivos agrícolas). A pegada hídrica verde foi calculada de forma espacial para todo o estado, em pixels com 1 x 1 km. As pegadas hídricas verde de cada grupo de culturas foram calculadas através do Balanço Hídrico Climatológico (BHC), pelo método de Thornthwaite e Mather (1955), do qual se obteve a evapotranspiração real das culturas (ETR), utilizando dados de precipitação e evapotranspiração de referência ( $ET_0$ ). O cálculo dos elementos do BHC de forma espacial foi realizado utilizando um algoritmo implementado no programa MATLAB, conforme metodologia apresentada em Cecílio et al. (2012). A descrição dos dados utilizados e os procedimentos de cálculo realizados são descritos na sequência.

#### 4.3.1 Dados de precipitação e evapotranspiração utilizados

Os dados de precipitação média mensal, referentes ao período 1980 a 2013, foram obtidos do trabalho de Xavier; King; Scanlon (2016), o qual foi resultado de um projeto de desenvolvimento de grids de alta resolução ( $0,25^\circ \times 0,25^\circ$ ) (Figura 3). Os dados estão disponíveis no site <http://careyking.com/data-download/>, de forma gratuita. Em seguida, utilizou os interpoladores, indicados por Silva et al. (2011) para realizar o *downscaling* dos mapas de precipitação mensal para uma resolução espacial de 1 x 1 km (Apêndice A).

Figura 3 – Pontos centrais de precipitação média mensal disponibilizados por Xavier; King; Scanlon (2016), recortado para o estado do Espírito Santo.



Fonte: Adaptado do Sistema Integrado de Bases Georreferenciadas do estado do Espírito Santo – GEOBASES e Xavier; King; Scanlon (2016).

Os dados de evapotranspiração potencial média mensal foram calculados utilizando o método de Hargreaves & Samani (HARGREAVES e SAMANI, 1985), e corrigidos por meio do ajuste geral proposto por Dohler (2016), para o Espírito Santo, de acordo com a Equação 4. Optou-se por não utilizar os dados de evapotranspiração de Xavier; King; Scanlon (2016) devido a não utilização da variável altitude nos cálculos de evapotranspiração.

$$ET_0 = \left( 108 \cdot \left( 0,0023 \cdot Ra \cdot (T_{\max} - T_{\min})^{0,5} \cdot (T_{\text{med}} + 17,8) \right) - 0,81 \right) \cdot NDA \quad (4)$$

Em que:

$ET_0$  = evapotranspiração mensal, mm;

$T_{\max}$  = temperatura máxima do ar mensal, °C;

$T_{\min}$  = temperatura mínima do ar mensal, °C;

$T_{\text{med}}$  = temperatura média do ar mensal (média das temp. máxima e mínima), °C;

$Ra$  = radiação solar extraterrestre mensal, mm dia<sup>-1</sup>; e

$NDA$  = número de dias de cada mês, dia.

Os dados de temperatura foram obtidos através do uso das equações de regressão linear múltipla, conforme modelo exposto na Equação 5:

$$T_i = \beta_0 + \beta_1 \cdot \text{Alt} + \beta_2 \cdot \text{Lat} + \beta_3 \cdot \text{Long} \quad (5)$$

Em que:

$T_i$  = temperaturas normais (médias, máximas e mínimas) mensais, °C;

$\text{Alt}$  = altitude (m);

$\text{Lat}$  = latitude, em graus e décimos (entrada com valores negativos);

$\text{Long}$  = longitude em graus e décimos (entrada com valores negativos);

$\beta_0, \beta_1, \beta_2$  e  $\beta_3$  = parâmetros de regressão.

Os parâmetros utilizados na Equação 5 para determinar as temperaturas máximas e mínimas mensais foram obtidos do estudo realizado por Castro et al. (2010), apresentados nas tabelas 1 e 2.

Tabela 1 – Parâmetros para determinar as temperaturas máximas mensais no estado do Espírito Santo

| <b>Mês</b> | <b>Coeficiente (<math>\beta_0</math>)</b> | <b>Altitude (<math>\beta_1</math>)</b> | <b>Latitude (<math>\beta_2</math>)</b> | <b>Longitude (<math>\beta_3</math>)</b> | <b>R<sup>2</sup></b> |
|------------|-------------------------------------------|----------------------------------------|----------------------------------------|-----------------------------------------|----------------------|
| Jan.       | -54,2396                                  | -0,0070                                | 0,9572                                 | -2,6078                                 | 0,93                 |
| Fev.       | -53,4070                                  | -0,0069                                | 0,8864                                 | -2,5734                                 | 0,92                 |
| Mar.       | -34,2341                                  | -0,0069                                | 0,8719                                 | -2,0787                                 | 0,93                 |
| Abr.       | -30,1983                                  | -0,0071                                | 0,9615                                 | -1,9839                                 | 0,93                 |
| Mai        | -16,4060                                  | -0,0069                                | 1,0584                                 | -1,6528                                 | 0,93                 |
| Jun.       | -25,4206                                  | -0,0070                                | 0,8532                                 | -1,7457                                 | 0,94                 |
| Jul.       | -34,6520                                  | -0,0071                                | 0,9035                                 | -1,9858                                 | 0,93                 |
| Ago.       | -57,1346                                  | -0,0072                                | 0,9858                                 | -2,5933                                 | 0,93                 |
| Set.       | -61,6003                                  | -0,0070                                | 1,1746                                 | -2,8013                                 | 0,92                 |
| Out.       | -66,9527                                  | -0,0069                                | 1,2779                                 | -3,0151                                 | 0,90                 |
| Nov.       | -56,6633                                  | -0,0068                                | 1,0311                                 | -2,6542                                 | 0,90                 |
| Dez.       | -43,8685                                  | -0,0067                                | 0,8624                                 | -2,2796                                 | 0,92                 |

Fonte: Adaptado de Castro et al. (2010).

Tabela 2 – Parâmetros para determinar as temperaturas mínimas mensais no estado do Espírito Santo

| <b>Mês</b> | <b>Coeficiente (<math>\beta_0</math>)</b> | <b>Altitude (<math>\beta_1</math>)</b> | <b>Latitude (<math>\beta_2</math>)</b> | <b>Longitude (<math>\beta_3</math>)</b> | <b>R<sup>2</sup></b> |
|------------|-------------------------------------------|----------------------------------------|----------------------------------------|-----------------------------------------|----------------------|
| Jan.       | 22,4662                                   | -0,0070                                | ns                                     | ns                                      | 0,92                 |
| Fev.       | 22,6153                                   | -0,0069                                | ns                                     | ns                                      | 0,91                 |
| Mar.       | 22,3432                                   | -0,0069                                | ns                                     | ns                                      | 0,92                 |
| Abr.       | 21,1701                                   | -0,0071                                | ns                                     | ns                                      | 0,92                 |
| Mai.       | 19,4726                                   | -0,0069                                | ns                                     | ns                                      | 0,92                 |
| Jun.       | 17,9063                                   | -0,0070                                | ns                                     | ns                                      | 0,88                 |
| Jul.       | 17,5106                                   | -0,0071                                | ns                                     | ns                                      | 0,88                 |
| Ago.       | 17,8211                                   | -0,0072                                | ns                                     | ns                                      | 0,89                 |
| Set.       | 18,9269                                   | -0,0070                                | ns                                     | ns                                      | 0,90                 |
| Out.       | 20,3482                                   | -0,0069                                | ns                                     | ns                                      | 0,92                 |
| Nov.       | 21,3521                                   | -0,0068                                | ns                                     | ns                                      | 0,94                 |
| Dez.       | 22,1328                                   | -0,0067                                | ns                                     | ns                                      | 0,94                 |

ns = não significativo em nível de 5% de probabilidade pelo teste “t” de Student ( $P > 0,05$ ).

Fonte: Adaptado de Castro et al. (2010).

Os dados de altitude foram obtidos a partir do Modelo Digital de Elevação do projeto Topodata, desenvolvido pelo Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais (INPE, 2016), que realizaram um refinamento do MDE SRTM, resultando em um MDE com escala espacial de 30 metros. Este MDE refinado está disponível gratuitamente na internet no endereço [www.webmapit.com.br/inpe/topodata/](http://www.webmapit.com.br/inpe/topodata/). Para utilização deste MDE realizou-se previamente uma reclassificação com resolução espacial de 1 km.

#### 4.3.2 Cálculo do balanço hídrico climatológico

O BHC foi calculado utilizando-se dados de evapotranspiração da cultura ( $ET_c$ ) média mensal e de precipitação média mensal. A  $ET_c$  foi obtida pela multiplicação entre a  $ET_0$  e os valores de coeficiente de cultivo ( $K_c$ ) apresentados na Tabela 3.

Tabela 3 – Coeficientes de cultivo médios adotados para cada cultura

| <b>Cultura</b> | <b><math>K_c</math> (m)</b> | <b>Fonte</b>         |
|----------------|-----------------------------|----------------------|
| Abacaxi        | 0,37                        | (ALLEN et al., 1998) |
| Banana         | 0,98                        | (ALLEN et al., 1998) |
| Café           | 1,01                        | (ALLEN et al., 1998) |
| Cana-de-açúcar | 0,80                        | (ALLEN et al., 1998) |
| Coco-da-baía   | 0,80                        | (ALLEN et al., 1998) |
| Eucalipto      | 0,82                        | (ALVES et al., 2013) |
| Mamão          | 0,87                        | (ALLEN et al., 1998) |
| Pastagem       | 0,80                        | (ALLEN et al., 1998) |
| Seringueira    | 0,98                        | (ALLEN et al., 1998) |

Para as culturas mata nativa, estágio inicial de regeneração, restinga, mangue, brejo, pinus, cultivos temporários e permanentes decidiu-se adotar o  $K_c$  (m) igual a 1,00 e para a cultura macega foi adotado 0,80, devido a indisponibilidade de dados na literatura.

A capacidade de água disponível (CAD) foi determinada pela multiplicação entre a CAD por unidade de profundidade ( $CAD_{unitária}$ ) e a profundidade efetiva do sistema radicular (Z) das culturas (Tabela 4).

Tabela 4 – Valores adotados de profundidade efetiva do sistema radicular (Z) e sua fonte literária

| <b>Cultura</b> | <b>Z (m)</b> | <b>Fonte</b>           |
|----------------|--------------|------------------------|
| Abacaxi        | 0,45         | (ALLEN et al., 1998)   |
| Banana         | 0,70         | (ALLEN et al., 1998)   |
| Café           | 1,20         | (ALLEN et al., 1998)   |
| Cana-de-açúcar | 1,60         | (ALLEN et al., 1998)   |
| Coco-da-baía   | 1,00         | (MIRANDA et al., 2007) |
| Eucalipto      | 1,50         | (ALLEN et al., 1998)   |
| Mamão          | 0,30         | (POSSE et al., 2008)   |
| Pastagem       | 1,00         | (ALLEN et al., 1998)   |
| Seringueira    | 1,50         | (ALLEN et al., 1998)   |

Para as culturas mata nativa, estágio inicial de regeneração, restinga, mangue, brejo e pinus decidiu-se adotar o Z (m) igual a 1,5, cultivos temporários 0,30, cultivos permanentes e macega 1,00, devido a indisponibilidade de dados na literatura.

A CAD por unidade de profundidade foi determinada de acordo com as propriedades físicas dos solos, utilizando-se os valores apresentados por Pereira et al. (2002):

- Solos de textura pesada: 200 mm/m;
- Solos de textura média: 140 mm/m;
- Solos de textura grossa: 60 mm/m.

As classes de textura média dos solos foram obtidas conforme realizado por Silva et al. (2013), da seguinte forma:

- solos de textura pesada: Latossolos, Nitossolos, Cambissolos, Chernossolos, Gleissolos e Organossolos;
- solos com textura média: Argissolos e Neossolos Litólicos; e

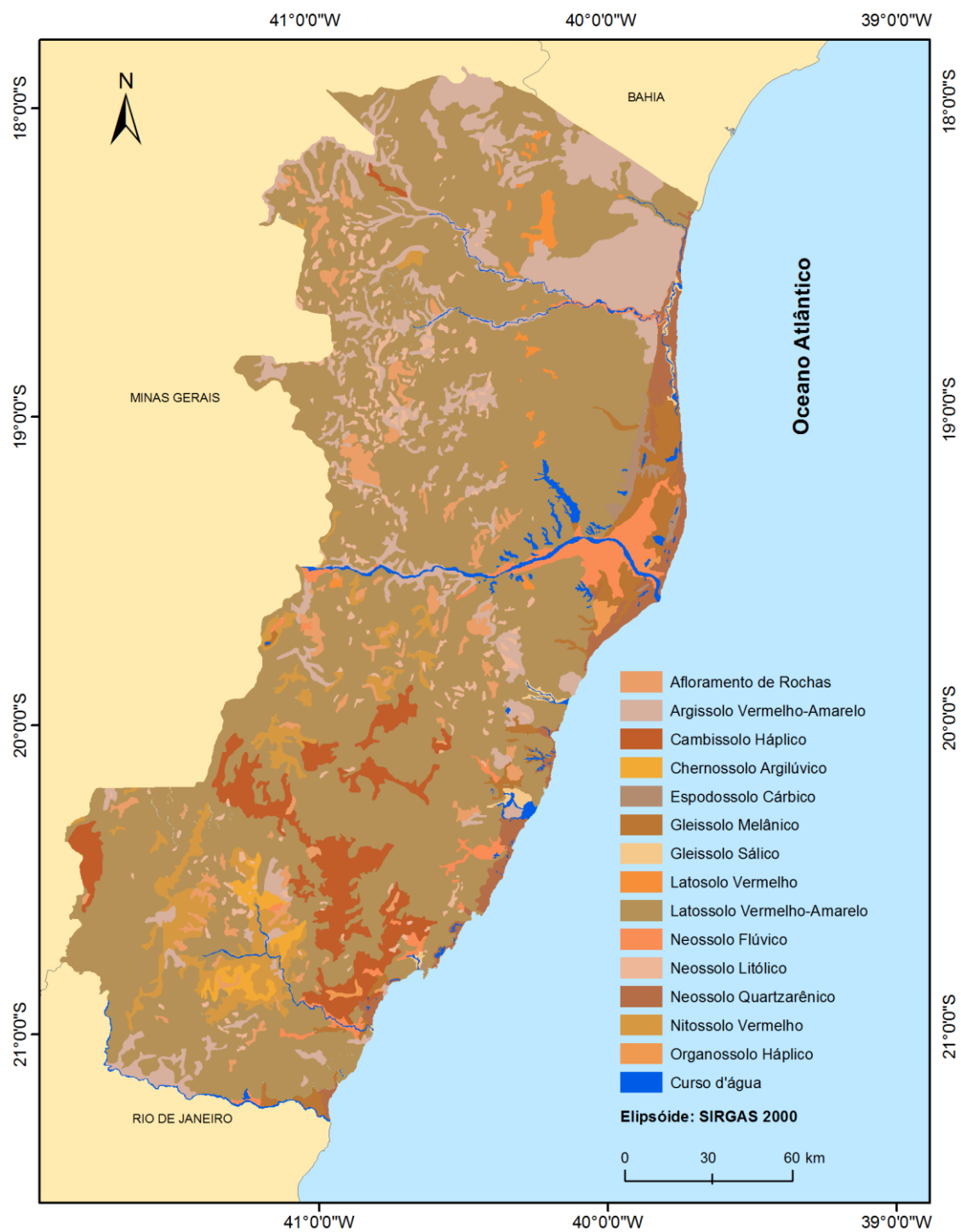
- solos de textura grossa: Espodossolos, Neossolos Quartzarênico e Neossolos Flúvico.

Para obtenção do mapa de solos foi utilizado o banco de dados do Sistema Integrado de Bases Geoespaciais do Estado do Espírito Santo (GEOBASES), com as principais classes de solo do estado (Figura 4).

A partir do cálculo do BHC obtiveram-se os valores de evapotranspiração real (ETR), em escalas mensal e anual, para cada pixel (1 km x 1 km) no estado do Espírito Santo.

As áreas de afloramento rochoso, área edificada, campo rupestre/altitude, extração mineração, massa d'água, solo exposto e outros não foram contabilizadas nos cálculos da pegada hídrica verde, sendo consideradas áreas improdutivas.

Figura 4 – Mapa de classes de solo do estado do Espírito Santo



Fonte: Adaptado do Sistema Integrado de Bases Georreferenciadas do estado do Espírito Santo – GEOBASES.

#### 4.3.3 Cálculo da pegada hídrica verde

A pegada hídrica verde foi calculada da mesma forma para todas as classes de uso da terra (pastagem, floresta, café, silvicultura e outros usos agrícolas), de acordo com a Equação 6:

$$PH_{\text{verde}} = 10 \cdot ETR \cdot A \quad (6)$$

Em que:

$PH_{\text{verde}}$  = pegada hídrica verde mensal, m<sup>3</sup>;

ETR = evapotranspiração real média mensal da cultura, mm; e

A = área de cultivo, ha.

#### 4.3 Avaliação da sustentabilidade da pegada hídrica verde

A avaliação da sustentabilidade da PH verde foi feita a partir do cálculo dos indicadores de escassez de água (EA), pela razão entre a pegada hídrica verde total e a disponibilidade de água verde em cada mês. A escassez foi classificada como: sustentável ( $EA \leq 1$ ) ou insustentável ( $EA > 1$ ), de acordo com as suas características.

A pegada hídrica verde de uma determinada área geográfica torna-se crítica ambientalmente quando ela excede a disponibilidade da água verde. A disponibilidade de água verde ( $DA_{\text{verde}}$ ) de uma área, em um determinado período, é definida pela Equação 7 (HOEKSTRA et al., 2011):

$$DA_{\text{verde}} = ET_{\text{verde}} - ET_{\text{amb}} - ET_{\text{improd}} \quad (7)$$

Em que:

$ET_{\text{verde}}$  = Evapotranspiração da água da chuva,  $m^3/mês$ ;

$ET_{\text{amb}}$  = Evapotranspiração da cobertura vegetal natural,  $m^3/mês$ ;

$ET_{\text{improd}}$  = Evapotranspiração das áreas improdutivas,  $m^3/mês$ .

A evapotranspiração verde foi obtida a partir dos dados de precipitação média mensal de Xavier; King; Scanlon (2016) para todo o estado, em que o total de água precipitado para cada cidade foi adotado como sendo a  $ET_{\text{verde}}$ , em  $m^3/mês$ .

A evapotranspiração da cobertura vegetal natural, ou evapotranspiração ambiental foi calculada pelo somatório da evapotranspiração das áreas de mata nativa, estágio inicial de regeneração, restinga, mangue e brejo. Os valores de ETR foram obtidos através do BHC. Neste trabalho, as áreas improdutivas afloramento rochoso, área edificada, campo rupestre/altitude, extração mineração, massa d'água, solo exposto e outros não foram contabilizadas nos cálculos de sustentabilidade da pegada hídrica verde.

O nível de escassez da água verde ( $EA_{\text{verde}}$ ) em uma determinada área geográfica é calculado de acordo com a Equação 8:

$$EA_{\text{verde}} = \frac{\sum PH_{\text{verde}}}{DA_{\text{verde}}} \quad (8)$$

Em que:

$\sum PH_{\text{verde}}$  = somatório da pegada hídrica verde das coberturas vegetais.

A escassez da água verde é considera sustentável ambientalmente quando apresenta o valor de 100%, significando que toda água disponível foi consumida. Uma escassez que apresenta valor acima de 100% é considerada insustentável.

## 5. RESULTADOS E DISCUSSÕES

### 5.1 Usos da terra no estado do Espírito Santo

No presente estudo foram contabilizadas as áreas cultivadas e coberturas vegetais presentes em cada região e cada município do estado. Na Tabela 5 apresentam-se as proporções médias dos quatro principais tipos de usos da terra no estado do Espírito Santo e em cada macrorregião, que representam 82,3% da área do estado.

Tabela 5 – Principais usos da terra no estado do Espírito Santo, em 2007/2008.

| Descrição       | Macrorregiões |               |             |             | Estado |             |
|-----------------|---------------|---------------|-------------|-------------|--------|-------------|
|                 | Sul           | Metropolitana | Central     | Norte       |        |             |
| Municípios      | 27            | 19            | 16          | 16          | 78     | -           |
| Área (%)        | 22,5          | 19,7          | 26,6        | 31,2        | 100,0  | -           |
| Mata nativa     | 15,6          | 25,7          | 16,3        | 7,7         | 15,3   |             |
| Estágio inicial | 5,9           | 9,7           | 5,7         | 4,9         | 6,3    | <b>21,9</b> |
| Restinga        | 0,2           | 0,1           | 0,5         | 0,4         | 0,3    |             |
| Pastagem        | 47,9          | 25,7          | 36,6        | 51,7        | 41,7   | <b>46,0</b> |
| Macega          | 4,82          | 6,30          | 4,37        | 2,56        | 4,3    |             |
| Café            | 11,2          | 9,2           | 9,5         | 5,5         | 8,6    | <b>8,6</b>  |
| Eucalipto       | 1,7           | 4,4           | 7,6         | 8,1         | 5,8    | <b>5,8</b>  |
| <b>Total</b>    | <b>87,3</b>   | <b>81,1</b>   | <b>80,5</b> | <b>80,8</b> | -      | <b>82,3</b> |

A pastagem representada o maior uso no estado, com percentual de 41,7%, e quando agrupada com a macega, este percentual aumenta para 46,0%. Em levantamento do Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística (IBGE), relata que a pastagem, sem agrupar com a classe macega, apresenta um percentual de 29,1%, diferenciando do encontrado neste estudo (IBGE, 2015). O percentual de pastagem

pelo IBGE foi diferenciado do presente estudo devido a coleta dessas informações por meio de entrevistas dos proprietários da região.

O segundo maior uso no estado é a mata nativa, que apresenta um percentual de 15,3%, o qual não atende o percentual de Reserva Legal estabelecido pela Lei nº 12.651 de 2012 (Código Florestal Brasileiro), que deve ser de 20%, no mínimo (BRASIL 2012). Quando agrupa-se as classes mata nativa, estágio inicial de regeneração e restinga, este percentual aumenta para 21,9%, mudando a situação de Reserva Legal dentro do estado, apresentando um pouco mais do percentual mínimo que deve-se ter.

No relatório técnico da Fundação SOS Mata Atlântica e Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais, no período de 2005-2008, foi quantificado o percentual de mata nativa no Espírito Santo de 8,4%, sem agrupamento de estágio inicial e restinga, subestimando o percentual de mata nativa no estado. A SOS Mata Atlântica e INPE quantificaram as áreas de mata nativa através da interpretação visual em tela de computador, na escala 1:50.000, e as áreas acima de 3 hectares foram identificadas por meio das imagens dos sensores CCD do satélite sino-brasileiro CBERS-2 (CCD/CBERS-2) e TM/Landsat 5 do ano de 2005, incluindo ainda a utilização de imagens TM/Landsat 5 de 2008 (SOS MATA ATLÂNTICA; INPE, 2009). Dessa forma, os percentuais de mata nativa gerados no relatório foram diferentes deste estudo.

Quando se analisa a representatividade da mata nativa por macrorregiões, o maior percentual é na Metropolitana, com 25,7% de mata nativa, sem agrupar com outras classes. Essa macrorregião atende o valor mínimo de Reserva Legal exigido pelo Código Florestal Brasileiro (BRASIL 2012). Ao agrupar as classes estágio inicial de regeneração e restinga, esse percentual aumenta para 35,6%.

As macrorregiões Sul e Central representam um percentual de 15,6% e 16,3% de mata nativa, respectivamente. Dessa maneira, não atende ao mínimo exigido de Reserva Legal (BRASIL 2012). Quando se agrupa as classes estágio inicial de regeneração e restinga, esses valores aumentam para 21,5% na Sul e para 22,0% na Central, atendendo aos valores mínimos de Reserva Legal exigidos (BRASIL 2012).

A macrorregião Norte é a que possui menor representatividade de mata nativa, com apenas 7,7%. Ao agrupar com classes estágio inicial de regeneração

e restinga, esse valor aumenta para 12,6%. Mesmo com o acréscimo dessas duas classes, o percentual de mata nativa continua abaixo do exigido por lei (BRASIL 2012). Com isso, a maioria dos municípios desta macrorregião não apresentam o percentual mínimo de Reserva Legal que deveria ser atendido, apresentando maiores áreas de uso da terra para pastagem, eucalipto e cana-de-açúcar.

A cafeicultura apresenta um percentual de 8,6% no estado. A produção de café é uma das principais atividades agrícolas que gera renda para o estado, sendo o terceiro maior uso da terra. Segundo a CONAB (2015), o cultivo de café apresenta 9,4% no estado, diferenciando um pouco do percentual encontrado neste estudo. Este percentual informado pela CONAB foi coletado através de visitas de campo as regiões produtoras no estado.

Considera-se que as proporções médias dos usos da terra apresentadas neste estudo sejam mais coerentes, devido a utilização de uma melhor base de dados e método de levantamento: fotointerpretação a partir de um ortofotomosaico com resolução espacial de 1 metro, obtido a partir de aerofotogrametria.

Os principais usos da terra apresentados na Tabela 9 representam 82,3% da área do estado; entretanto, no presente estudo, para fins de cálculo da evapotranspiração real, para a determinação da pegada hídrica, utilizaram-se também as classes de mangue, brejo, pinus, seringueira, cana-de-açúcar, abacaxi, mamão, coco-da-baía, banana, outros cultivos permanentes e outros cultivos temporários, resultando numa cobertura de 90,8% da área do estado.

Nas tabelas de 6 a 9 apresentam-se os principais usos da terra em cada município, nas quatro macrorregiões no estado, referentes aos anos de 2007/2008. O uso da terra mais expressivo nas macrorregiões é a pastagem, exceto na macrorregião Metropolitana, sendo a mata nativa mais expressiva. O segundo maior uso da terra é a mata nativa nas macrorregiões Sul e Central, entretanto na Metropolitana é a pastagem, e na Norte é o cultivo de eucalipto. O terceiro maior uso é a cafeicultura nas macrorregiões Sul e Central, nas outras duas macrorregiões temos o estágio inicial de regeneração na Metropolitana e a mata nativa na Norte.

A mata nativa é mais predominante na macrorregião Metropolitana devido, em grande parte, ao fato desta região possuir uma topografia mais declivosa, assim como no Caparaó, situado na macrorregião Sul. Em áreas declivosas o acesso é

mais difícil para a remoção da cobertura vegetal, pela dificuldade de uso de mecanização, além de ser uma condição menos propícia para a prática de atividades agropecuárias. Nesta região são encontradas reservas estaduais e particulares, e áreas de preservação, possibilitando a permanência de áreas de mata nativa.

Na macrorregião Norte a expressividade do cultivo de eucalipto ocorre devido a presença de grandes plantios de eucalipto no município de Conceição da Barra, o qual obteve maior representatividade de áreas de eucalipto dentro da macrorregião. As regiões norte e central são as maiores produtoras de eucalipto no estado devido ao relevo ser mais plano, com maior facilidade de mecanização, e devido à presença de indústrias de produção de papel e celulose existentes na região Central do estado do ES (Aracruz) e no sul da Bahia.

A cafeicultura é o terceiro maior uso da terra na macrorregião Sul e Central, devido a presença de grandes áreas de produção de café nos municípios inseridos nestas macrorregiões.

Outro uso que tem apresenta representatividade expressiva é a cana-de-açúcar, com 26,0% no município Pedro Canário, e em Marataízes, com 25%. Nestes dois municípios são encontrados esses valores devido a presença de usinas de beneficiamento de cana-de-açúcar para fabricação de açúcar e álcool.

Tabela 6 – Percentuais dos principais usos da terra na macrorregião Sul do estado do Espírito Santo, em 2007/2008

| Município               | Área (km²)       | Mata nativa  | Estágio inicial | Restinga    | Brejo       | Pastagem     | Macega      | Eucalipto   | Café         | Cana-de-açúcar |
|-------------------------|------------------|--------------|-----------------|-------------|-------------|--------------|-------------|-------------|--------------|----------------|
| Alegre                  | 772,69           | 10,92        | 5,23            | 0,00        | 0,20        | 65,97        | 2,85        | 0,66        | 6,94         | 0,00           |
| Alfredo Chaves          | 615,85           | 39,12        | 7,83            | 0,00        | 0,12        | 24,25        | 5,87        | 5,08        | 6,61         | 0,00           |
| Anchieta                | 409,63           | 14,31        | 8,96            | 0,08        | 3,87        | 51,56        | 2,87        | 1,56        | 2,34         | 0,01           |
| Apiacá                  | 194,16           | 8,29         | 6,04            | 0,00        | 0,33        | 64,35        | 5,93        | 0,59        | 8,18         | 0,00           |
| Atílio Vivácqua         | 223,55           | 15,66        | 3,62            | 0,00        | 0,34        | 60,68        | 3,00        | 0,37        | 6,47         | 0,21           |
| Bom Jesus do Norte      | 89,29            | 9,90         | 8,16            | 0,00        | 0,17        | 70,76        | 3,93        | 0,04        | 2,05         | 0,00           |
| Cachoeiro de Itapemirim | 874,43           | 14,64        | 5,81            | 0,00        | 0,30        | 55,90        | 3,97        | 0,61        | 6,58         | 0,16           |
| Castelo                 | 664,40           | 21,65        | 5,72            | 0,00        | 0,15        | 34,85        | 3,81        | 1,14        | 17,25        | 0,12           |
| Divino de São Lourenço  | 174,09           | 25,13        | 5,50            | 0,00        | 0,47        | 44,51        | 2,68        | 5,71        | 12,64        | 0,03           |
| Dores do Rio Preto      | 158,45           | 16,08        | 8,74            | 0,00        | 0,13        | 40,43        | 3,51        | 2,37        | 19,15        | 0,01           |
| Guaçuí                  | 468,84           | 10,88        | 6,99            | 0,00        | 0,45        | 53,47        | 6,86        | 2,25        | 13,62        | 0,03           |
| Ibatiba                 | 238,13           | 9,04         | 3,18            | 0,00        | 0,10        | 21,06        | 7,08        | 3,92        | 39,13        | 0,03           |
| Ibitirama               | 330,76           | 18,05        | 7,80            | 0,00        | 0,48        | 32,65        | 4,62        | 2,66        | 17,86        | 0,00           |
| Iconha                  | 203,56           | 11,60        | 10,71           | 0,00        | 0,11        | 47,47        | 2,16        | 2,24        | 11,36        | 0,00           |
| Irupi                   | 185,01           | 10,19        | 2,56            | 0,00        | 0,43        | 22,27        | 6,31        | 2,48        | 44,82        | 0,00           |
| Itapemirim              | 562,09           | 6,94         | 3,94            | 0,53        | 3,28        | 57,90        | 3,27        | 0,77        | 0,36         | 11,18          |
| Lúna                    | 459,21           | 13,30        | 6,97            | 0,00        | 0,11        | 26,09        | 7,34        | 2,11        | 28,07        | 0,01           |
| Jerônimo Monteiro       | 162,10           | 8,67         | 5,76            | 0,00        | 0,19        | 60,54        | 3,08        | 0,66        | 13,83        | 0,00           |
| Marataízes              | 130,23           | 0,44         | 2,08            | 0,53        | 8,00        | 13,68        | 4,26        | 0,14        | 0,00         | 25,00          |
| Mimoso do Sul           | 871,24           | 13,11        | 6,33            | 0,00        | 0,55        | 54,98        | 7,35        | 0,46        | 9,99         | 0,01           |
| Muniz Freire            | 679,35           | 17,68        | 5,50            | 0,00        | 0,17        | 43,82        | 8,05        | 2,78        | 12,91        | 0,00           |
| Muqui                   | 327,71           | 16,70        | 6,89            | 0,00        | 0,21        | 50,02        | 6,65        | 0,52        | 11,29        | 0,00           |
| Piúma                   | 73,94            | 2,85         | 4,04            | 0,04        | 1,46        | 72,24        | 3,34        | 0,52        | 1,97         | 0,05           |
| Presidente Kennedy      | 582,62           | 6,33         | 2,00            | 2,38        | 6,20        | 72,74        | 1,32        | 0,26        | 0,36         | 2,41           |
| Rio Novo do Sul         | 204,50           | 14,97        | 5,48            | 0,00        | 0,21        | 54,51        | 2,47        | 1,88        | 9,63         | 0,00           |
| São José do Calçado     | 273,77           | 12,04        | 6,47            | 0,00        | 0,21        | 65,27        | 4,77        | 0,49        | 5,18         | 0,00           |
| Vargem Alta             | 417,88           | 34,36        | 6,69            | 0,00        | 0,11        | 21,40        | 5,96        | 5,66        | 17,08        | 0,03           |
| <b>Geral</b>            | <b>10.347,48</b> | <b>15,56</b> | <b>5,90</b>     | <b>0,17</b> | <b>1,01</b> | <b>47,95</b> | <b>4,82</b> | <b>1,74</b> | <b>11,18</b> | <b>1,09</b>    |

Tabela 7 – Percentuais dos principais usos da terra na macrorregião Metropolitana do estado do Espírito Santo, em 2007/2008

| Município               | Área (km²)      | Mata nativa  | Estágio inicial | Restinga    | Brejo       | Pastagem     | Macega      | Eucalipto   | Café        | Cana-de-açúcar |
|-------------------------|-----------------|--------------|-----------------|-------------|-------------|--------------|-------------|-------------|-------------|----------------|
| Afonso Cláudio          | 941,12          | 16,30        | 9,28            | 0,00        | 0,29        | 36,73        | 7,84        | 2,98        | 13,15       | 0,09           |
| Brejetuba               | 353,93          | 10,90        | 7,66            | 0,00        | 0,45        | 18,43        | 10,38       | 8,26        | 32,79       | 0,00           |
| Cariacica               | 279,65          | 24,44        | 9,83            | 0,00        | 1,08        | 21,19        | 4,83        | 0,50        | 1,17        | 0,04           |
| Conceição do Castelo    | 369,45          | 25,57        | 6,27            | 0,00        | 0,13        | 24,40        | 6,55        | 4,99        | 14,81       | 0,00           |
| Domingos Martins        | 1.229,37        | 34,94        | 8,57            | 0,00        | 0,27        | 18,38        | 8,68        | 6,91        | 8,10        | 0,01           |
| Fundão                  | 286,77          | 16,26        | 8,80            | 0,01        | 1,71        | 43,83        | 4,48        | 3,69        | 7,14        | 0,00           |
| Guarapari               | 589,14          | 27,47        | 10,51           | 1,37        | 3,28        | 30,46        | 3,57        | 1,30        | 1,83        | 0,02           |
| Itaguaçu                | 535,18          | 17,66        | 8,47            | 0,00        | 0,40        | 38,77        | 5,19        | 2,91        | 12,29       | 0,00           |
| Itarana                 | 295,21          | 20,86        | 9,83            | 0,00        | 0,29        | 27,18        | 5,79        | 2,33        | 16,46       | 0,00           |
| Laranja da Terra        | 458,74          | 19,61        | 12,08           | 0,00        | 0,11        | 47,83        | 4,47        | 0,79        | 4,06        | 0,01           |
| Marechal Floriano       | 285,39          | 44,35        | 8,99            | 0,00        | 0,16        | 8,43         | 6,43        | 8,15        | 12,04       | 0,01           |
| Santa Leopoldina        | 717,99          | 40,81        | 10,58           | 0,00        | 0,77        | 21,62        | 4,87        | 2,54        | 5,31        | 0,00           |
| Santa Maria de Jetibá   | 735,33          | 35,47        | 9,40            | 0,00        | 0,21        | 10,53        | 9,54        | 8,22        | 8,51        | 0,05           |
| Santa Teresa            | 683,11          | 29,97        | 10,24           | 0,00        | 0,12        | 15,11        | 5,91        | 7,91        | 14,52       | 0,23           |
| Serra                   | 547,44          | 11,63        | 15,07           | 0,02        | 8,23        | 29,67        | 3,71        | 2,94        | 1,42        | 0,00           |
| Venda Nova do Imigrante | 185,99          | 27,36        | 6,76            | 0,00        | 0,29        | 10,17        | 5,59        | 9,74        | 16,83       | 0,00           |
| Viana                   | 312,22          | 26,98        | 11,24           | 0,00        | 1,87        | 38,36        | 4,23        | 1,15        | 1,19        | 0,40           |
| Vila Velha              | 209,87          | 7,65         | 7,28            | 0,68        | 7,04        | 35,21        | 4,23        | 0,41        | 0,08        | 0,34           |
| Vitória                 | 86,33           | 4,64         | 11,67           | 0,66        | 1,03        | 1,57         | 3,28        | 0,00        | 0,00        | 0,00           |
| <b>Geral</b>            | <b>9.102,22</b> | <b>25,74</b> | <b>9,71</b>     | <b>0,11</b> | <b>1,25</b> | <b>25,65</b> | <b>6,30</b> | <b>4,41</b> | <b>9,22</b> | <b>0,06</b>    |

Tabela 8 – Percentuais dos principais usos da terra na macrorregião Central do estado do Espírito Santo, em 2007/2008

| Município             | Área (km <sup>2</sup> ) | Mata nativa  | Estágio inicial | Restinga    | Brejo       | Pastagem     | Macega      | Eucalipto   | Café        | Cana-de-açúcar |
|-----------------------|-------------------------|--------------|-----------------|-------------|-------------|--------------|-------------|-------------|-------------|----------------|
| Alto Rio Novo         | 228,52                  | 6,80         | 5,80            | 0,00        | 0,47        | 49,70        | 5,77        | 8,83        | 14,14       | 0,00           |
| Aracruz               | 1.419,67                | 13,71        | 6,79            | 0,93        | 5,69        | 25,15        | 3,28        | 27,98       | 3,17        | 0,88           |
| Baixo Guandú          | 915,74                  | 10,40        | 10,44           | 0,00        | 0,64        | 53,38        | 6,63        | 2,19        | 5,85        | 0,01           |
| Colatina              | 1.416,74                | 11,36        | 8,51            | 0,00        | 0,61        | 50,46        | 5,04        | 3,33        | 7,72        | 0,02           |
| Governador Lindenberg | 359,91                  | 14,94        | 4,57            | 0,00        | 0,70        | 33,60        | 5,08        | 7,61        | 21,73       | 0,00           |
| Ibiraçu               | 201,20                  | 22,23        | 8,05            | 0,00        | 0,32        | 34,29        | 3,78        | 8,58        | 8,78        | 0,06           |
| João Neiva            | 284,67                  | 11,87        | 7,38            | 0,00        | 0,37        | 52,05        | 3,93        | 4,14        | 5,40        | 0,10           |
| Linhares              | 3.501,65                | 21,01        | 2,50            | 1,23        | 14,13       | 34,00        | 3,12        | 4,35        | 3,39        | 2,21           |
| Marilândia            | 308,97                  | 16,06        | 8,21            | 0,00        | 0,44        | 27,68        | 5,58        | 8,33        | 19,54       | 0,00           |
| Pancas                | 829,93                  | 12,07        | 9,38            | 0,00        | 0,29        | 35,83        | 5,14        | 2,75        | 14,95       | 0,00           |
| Rio Bananal           | 642,02                  | 13,26        | 3,40            | 0,00        | 1,30        | 30,20        | 5,68        | 10,16       | 22,47       | 0,01           |
| São Domingos do Norte | 298,54                  | 7,99         | 5,29            | 0,00        | 0,55        | 49,72        | 5,50        | 5,29        | 14,24       | 0,00           |
| São Gabriel da Palha  | 434,81                  | 11,84        | 4,42            | 0,00        | 0,59        | 44,42        | 4,76        | 3,76        | 16,57       | 0,07           |
| São Roque do Canaã    | 341,99                  | 11,44        | 10,29           | 0,00        | 0,19        | 36,90        | 4,43        | 2,72        | 16,87       | 1,11           |
| Sooretama             | 586,48                  | 44,88        | 1,68            | 0,00        | 1,54        | 16,88        | 3,17        | 6,63        | 13,07       | 0,00           |
| Vila Valério          | 470,21                  | 10,98        | 4,03            | 0,00        | 0,84        | 28,37        | 6,26        | 7,96        | 25,12       | 0,01           |
| <b>Geral</b>          | <b>12.241,02</b>        | <b>16,33</b> | <b>5,65</b>     | <b>0,46</b> | <b>5,11</b> | <b>36,60</b> | <b>4,37</b> | <b>7,56</b> | <b>9,52</b> | <b>0,77</b>    |

Tabela 9 – Percentuais dos principais usos da terra na macrorregião Norte do estado do Espírito Santo, em 2007/2008

| Município              | Área (km <sup>2</sup> ) | Mata nativa | Estágio inicial | Restinga    | Brejo       | Pastagem     | Macega      | Eucalipto   | Café        | Cana-de-açúcar |
|------------------------|-------------------------|-------------|-----------------|-------------|-------------|--------------|-------------|-------------|-------------|----------------|
| Água Doce do Norte     | 474,57                  | 8,88        | 0,24            | 0,00        | 0,74        | 47,99        | 5,03        | 1,17        | 10,97       | 0,00           |
| Águia Branca           | 454,47                  | 11,55       | 7,96            | 0,00        | 0,59        | 40,38        | 4,03        | 1,71        | 13,04       | 0,00           |
| Barra de São Francisco | 938,94                  | 10,20       | 7,84            | 0,00        | 1,04        | 54,75        | 2,74        | 0,50        | 9,33        | 0,00           |
| Boa Esperança          | 428,37                  | 6,31        | 3,17            | 0,00        | 2,94        | 49,92        | 4,13        | 1,80        | 10,15       | 7,94           |
| Conceição da Barra     | 1.185,05                | 14,86       | 5,90            | 2,08        | 5,58        | 12,16        | 3,31        | 34,77       | 0,26        | 8,21           |
| Ecoporanga             | 2.316,88                | 4,36        | 5,63            | 0,00        | 2,08        | 80,13        | 1,14        | 0,67        | 1,06        | 0,02           |
| Jaguare                | 659,43                  | 15,15       | 3,80            | 1,09        | 12,11       | 21,94        | 3,04        | 9,68        | 18,88       | 0,06           |
| Mantenópolis           | 320,09                  | 5,32        | 7,60            | 0,00        | 0,40        | 53,86        | 4,31        | 3,57        | 17,13       | 0,00           |
| Montanha               | 1.099,22                | 3,44        | 1,61            | 0,00        | 4,40        | 63,52        | 1,49        | 5,86        | 1,95        | 11,66          |
| Mucurici               | 541,40                  | 2,76        | 0,84            | 0,00        | 4,83        | 79,10        | 0,69        | 3,36        | 0,18        | 4,27           |
| Nova Venécia           | 1.441,94                | 8,79        | 5,65            | 0,00        | 1,74        | 56,52        | 3,24        | 2,50        | 8,73        | 0,17           |
| Pedro Canário          | 433,61                  | 2,65        | 5,40            | 0,00        | 3,46        | 43,40        | 1,89        | 9,62        | 0,04        | 25,97          |
| Pinheiros              | 972,75                  | 5,36        | 2,86            | 0,00        | 5,40        | 54,16        | 1,42        | 4,63        | 3,62        | 9,30           |
| Ponto Belo             | 360,60                  | 1,87        | 1,44            | 0,00        | 4,01        | 84,11        | 0,40        | 0,05        | 0,83        | 0,07           |
| São Mateus             | 2.338,18                | 8,93        | 6,19            | 0,91        | 8,90        | 33,34        | 3,53        | 18,27       | 4,90        | 2,83           |
| Vila Pavão             | 433,23                  | 8,96        | 6,37            | 0,00        | 1,07        | 57,20        | 2,59        | 0,44        | 9,24        | 0,01           |
| <b>Geral</b>           | <b>14.398,72</b>        | <b>7,70</b> | <b>4,91</b>     | <b>0,37</b> | <b>4,30</b> | <b>51,70</b> | <b>2,56</b> | <b>8,08</b> | <b>5,49</b> | <b>3,86</b>    |

Nas Figuras de 5 a 8 são apresentados os percentuais dos quatro principais usos da terra em cada município do estado: mata nativa, pastagem, café e eucalipto. Pode-se observar melhor a espacialização dos principais usos da terra em todo estado.

A classe mata nativa, agrupada com vegetação em estágio inicial de regeneração e restinga, é a mais representativa nos municípios de Santa Leopoldina (51,4%), Alfredo Chaves (46,9%), Sooretama (46,6%), Santa Maria de Jetibá (44,9%), Domingos Martins (43,5%) e Vargem Alta (41,0%) (Figura 5). Estes municípios apresentam muitas das maiores áreas preservadas de Mata Atlântica no estado. Em Sooretama se encontrada a área protegida mais antiga do estado, Reserva Biológica de Sooretama, com uma área territorial de 12.250 hectares e em Domingos Martins se encontrada o Parque Estadual da Pedra Azul, com 1240 hectares de área.

A classe pastagem agrupada com a macega é mais expressiva nas cidades de Ponto Belo, Ecoporanga, Mucurici, Piúma, Bom Jesus do Norte, Presidente Kennedy e Apiacá, com porcentagens de 84,5; 81,3; 79,8; 75,6; 74,7; 74,1; e 70,3, respectivamente.

A cafeicultura apresenta as maiores proporções cultivadas nos municípios de Irupi, Ibatiba, Brejetuba, Iúna e Vila Valério, correspondem a 44,3%, 38,7%; 32,5%; 27,8% e 24,9%, respectivamente.

O cultivo de eucalipto possui áreas mais expressivas em dois municípios: Aracruz e Conceição da Barra, com cerca de 34,4% e 27,7%, respectivamente.

Figura 5 – Percentual de mata nativa por município no Espírito Santo, incluindo estágio inicial de regeneração e restinga, em 2007/2008.

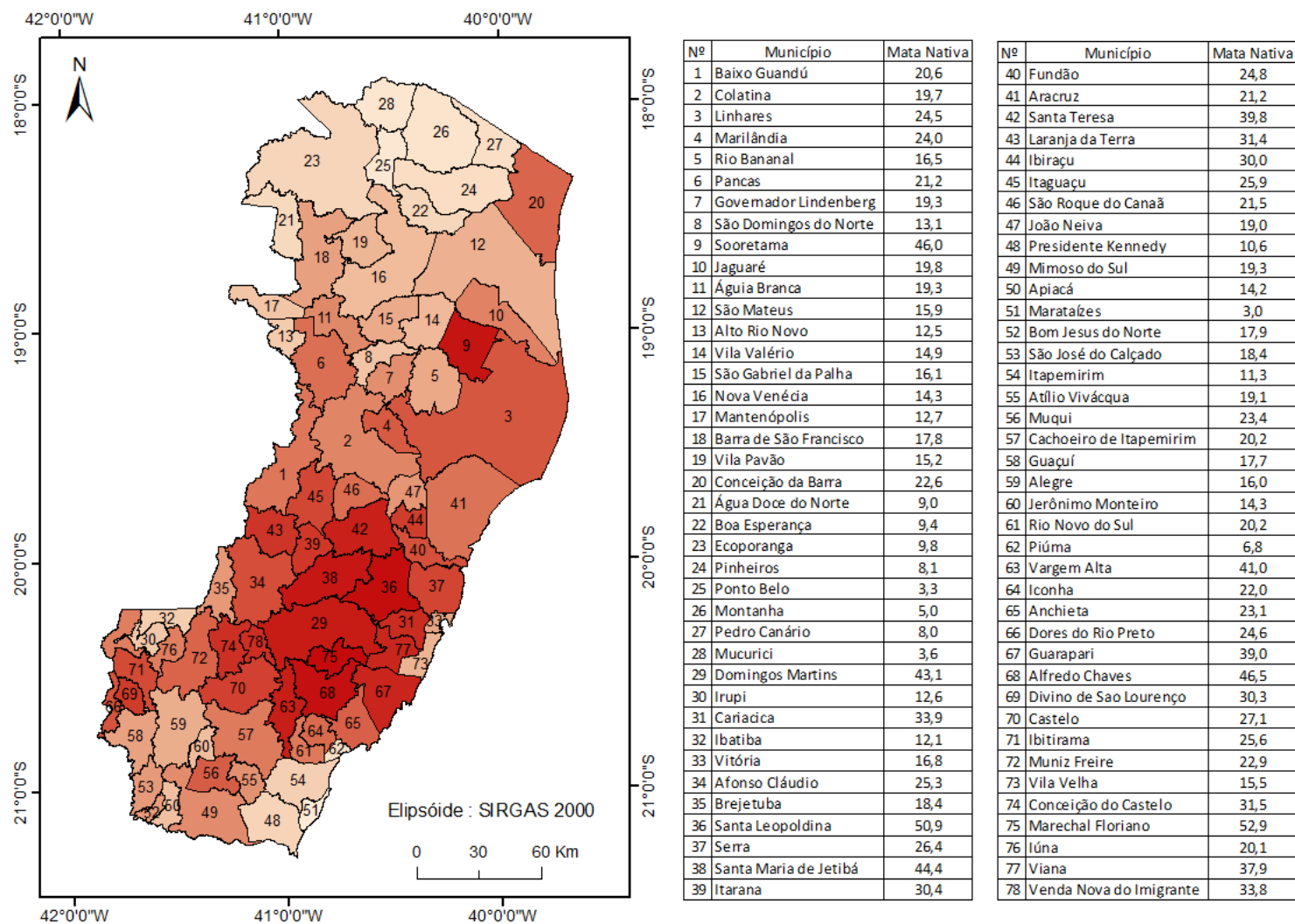


Figura 6 – Percentual de pastagem por município no estado do Espírito Santo, incluindo as áreas de macega, em 2007/2008.

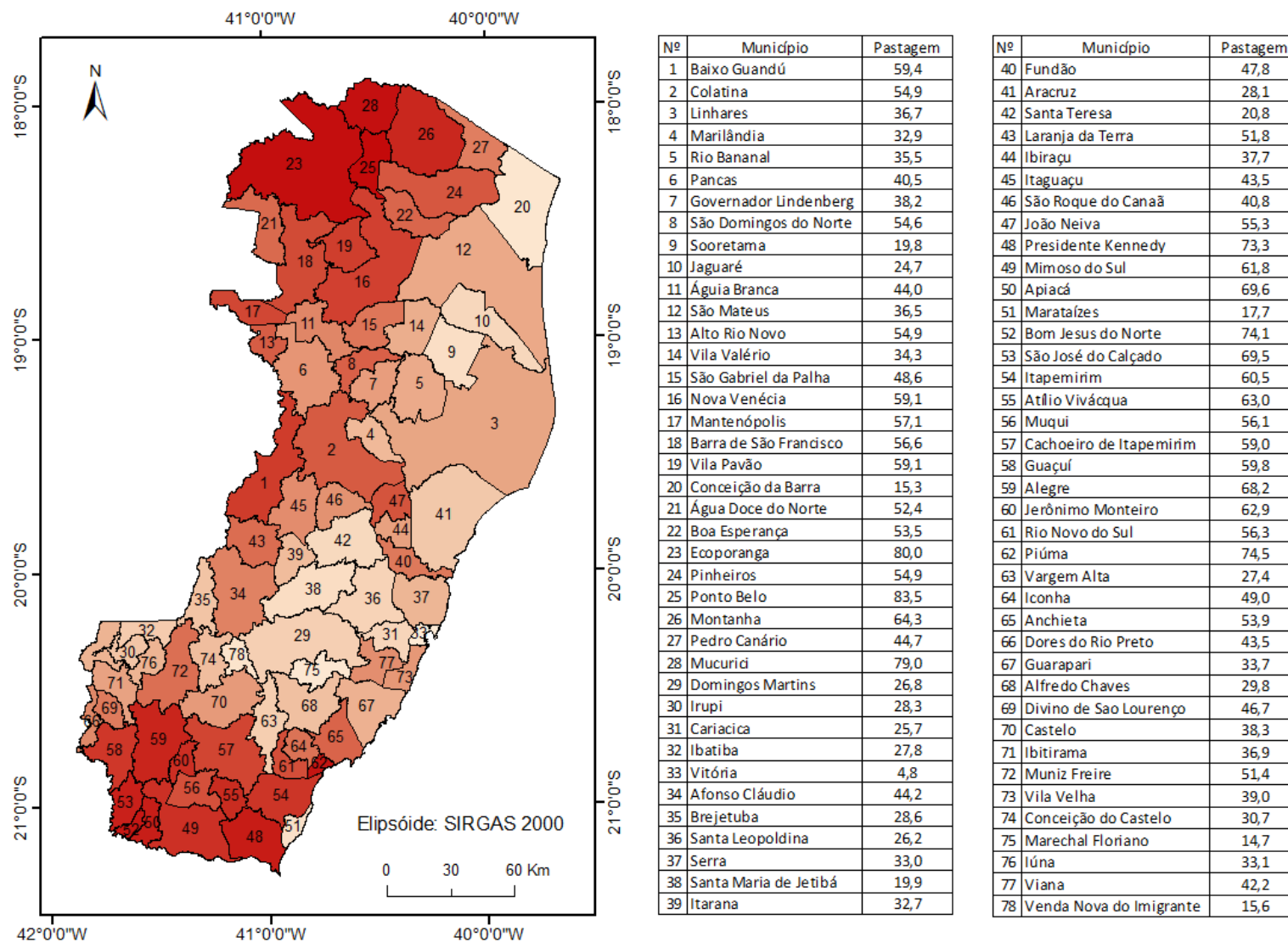


Figura 7 – Percentual de cafeicultura por município no estado do Espírito Santo, em 2007/2008.

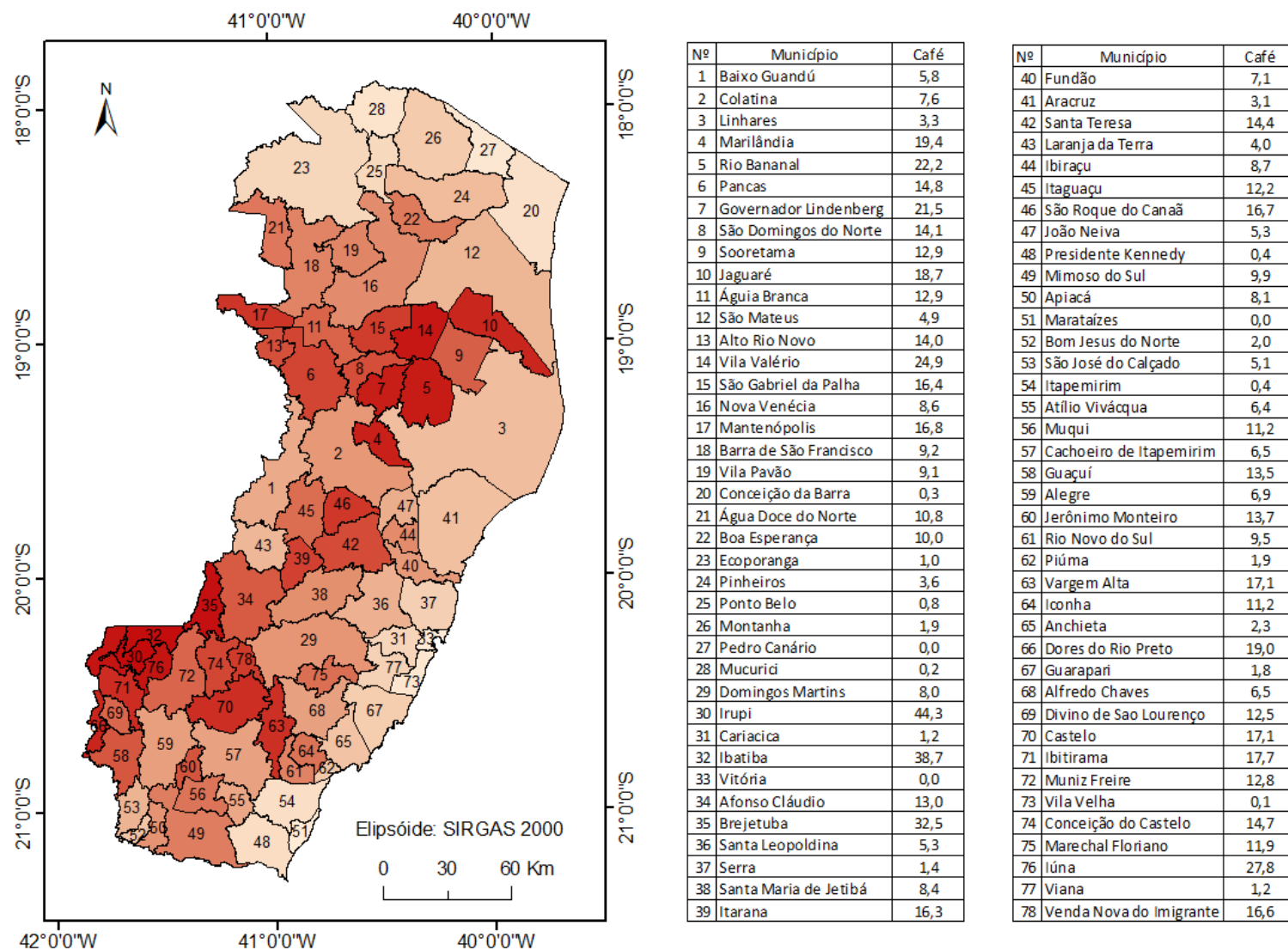
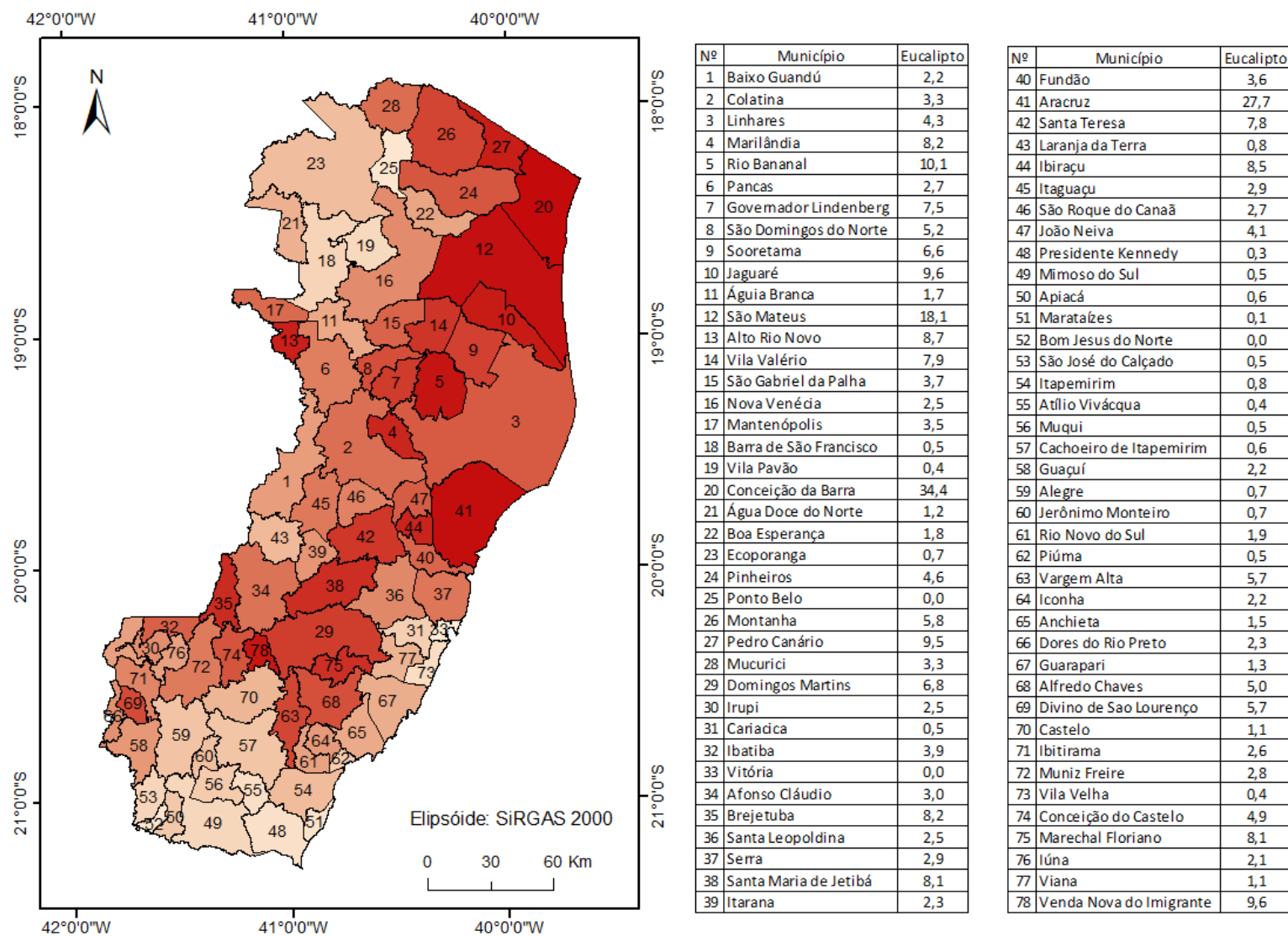


Figura 8 – Percentual de eucalipto por município no estado do Espírito Santo, em 2007/2008.



Para fins de complementação, na Tabela 10 são apresentados os usos da terra com menores áreas no estado do Espírito Santo (abacaxi, banana, coco, mamão, pinus, seringueira e mangue), referente aos cinco municípios com maior proporção.

Tabela 10 – Usos da terra (%) com menores proporções no estado do Espírito Santo, referentes aos cinco municípios com maior expressão, em 2007/2008

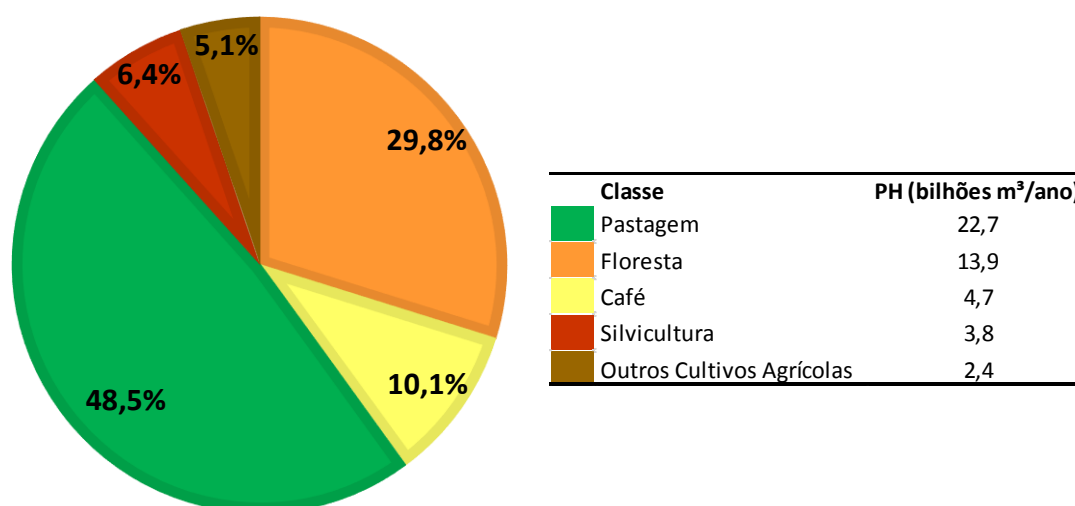
| Municípios           | <b>Abacaxi</b> | Municípios           | <b>Pinus</b>       |
|----------------------|----------------|----------------------|--------------------|
| Marataízes           | 8,17           | Conceição do Castelo | 5,16               |
| Itapemirim           | 0,65           | Brejetuba            | 0,67               |
| Itarana              | 0,04           | Castelo              | 0,31               |
| Presidente Kennedy   | 0,04           | Domingos Martins     | 0,16               |
| Marilândia           | 0,02           | Apiacá               | 0,13               |
| Municípios           | <b>Banana</b>  | Municípios           | <b>Seringueira</b> |
| Iconha               | 6,99           | Guarapari            | 1,55               |
| Alfredo Chaves       | 4,82           | Boa Esperança        | 1,39               |
| Cariacica            | 4,61           | Anchieta             | 1,31               |
| Guarapari            | 3,10           | Serra                | 1,26               |
| Anchieta             | 2,38           | Sooretama            | 1,13               |
| Municípios           | <b>Coco</b>    | Municípios           | <b>Mangue</b>      |
| Vila Valério         | 2,08           | Vitória              | 13,74              |
| São Gabriel da Palha | 1,44           | Cariacica            | 1,80               |
| Conceição da Barra   | 1,10           | Anchieta             | 1,55               |
| São Mateus           | 1,04           | Aracruz              | 1,22               |
| Jaguare              | 1,01           | Conceição da Barra   | 1,05               |
| Municípios           | <b>Mamão</b>   |                      |                    |
| Pinheiros            | 3,06           |                      |                    |
| Sooretama            | 2,25           |                      |                    |
| Jaguare              | 0,98           |                      |                    |
| Boa Esperança        | 0,78           |                      |                    |
| Vila Valério         | 0,71           |                      |                    |

## 5.2. Pegada hídrica verde total do Espírito Santo

A pegada hídrica verde foi calculada e avaliada para todo o estado do Espírito Santo, a partir da evapotranspiração real média mensal estimada

(Apêndice B). O total da pegada hídrica verde represente o somatório do consumo de água por todas as coberturas vegetais presentes no estado. Porém, optou-se por apresentar os resultados das principais coberturas vegetais nas classes: floresta, pastagem, café, silvicultura e outros cultivos agrícolas. Após os cálculos para cada classe, totalizou-se 47,5 bilhões de m<sup>3</sup>/ano de volume de água verde no estado. O volume de água verde com maior uso ocorreu na classe pastagem, representando 48,5% da pegada, seguido da floresta com 29,8%, café com 10,1%, silvicultura com 6,4%, e outros cultivos agrícolas com apenas 5,1% (Figura 9).

Figura 9 – Pegada hídrica verde dos principais tipos de uso da terra no estado do Espírito Santo, nos anos de 2007/2008.



A pegada hídrica verde da classe floresta foi obtida pelo somatório da evapotranspiração real das florestas nativas, vegetação em estágio inicial de regeneração, brejo, restinga e mangue. Com a contabilização da pegada hídrica verde de todas essas coberturas vegetais, obteve-se o valor de 13,9 bilhões de m<sup>3</sup>/ano. Já a pegada da classe silvicultura foi obtida pela soma da evapotranspiração real do eucalipto, seringueira e pinus, totalizando 3,8 bilhões de m<sup>3</sup>/ano.

Para a pastagem e o café foi totalizado, de acordo com a evapotranspiração real destas áreas no estado, os valores de 22,7 e 4,7 bilhões de m<sup>3</sup>/ano, respectivamente. A classe de outros cultivos agrícolas foi obtida do

uso da água verde dos cultivos temporários e permanentes, mamão, abacaxi, banana, cana-de-açúcar, coco-da-baía, com 2,4 bilhões de m<sup>3</sup>/ano.

Observa-se que a classe mais expressiva foi a pastagem, isso devido a vasta área desse uso do solo presente na maioria dos municípios do estado, representando 46% do território.

Leal (2016), em estudo na bacia do rio Itapemirim, obteve resultados similares, observando que a classe pastagem representou 54% do total da pegada hídrica verde, seguida da floresta com 26% e a agricultura representando 20%.

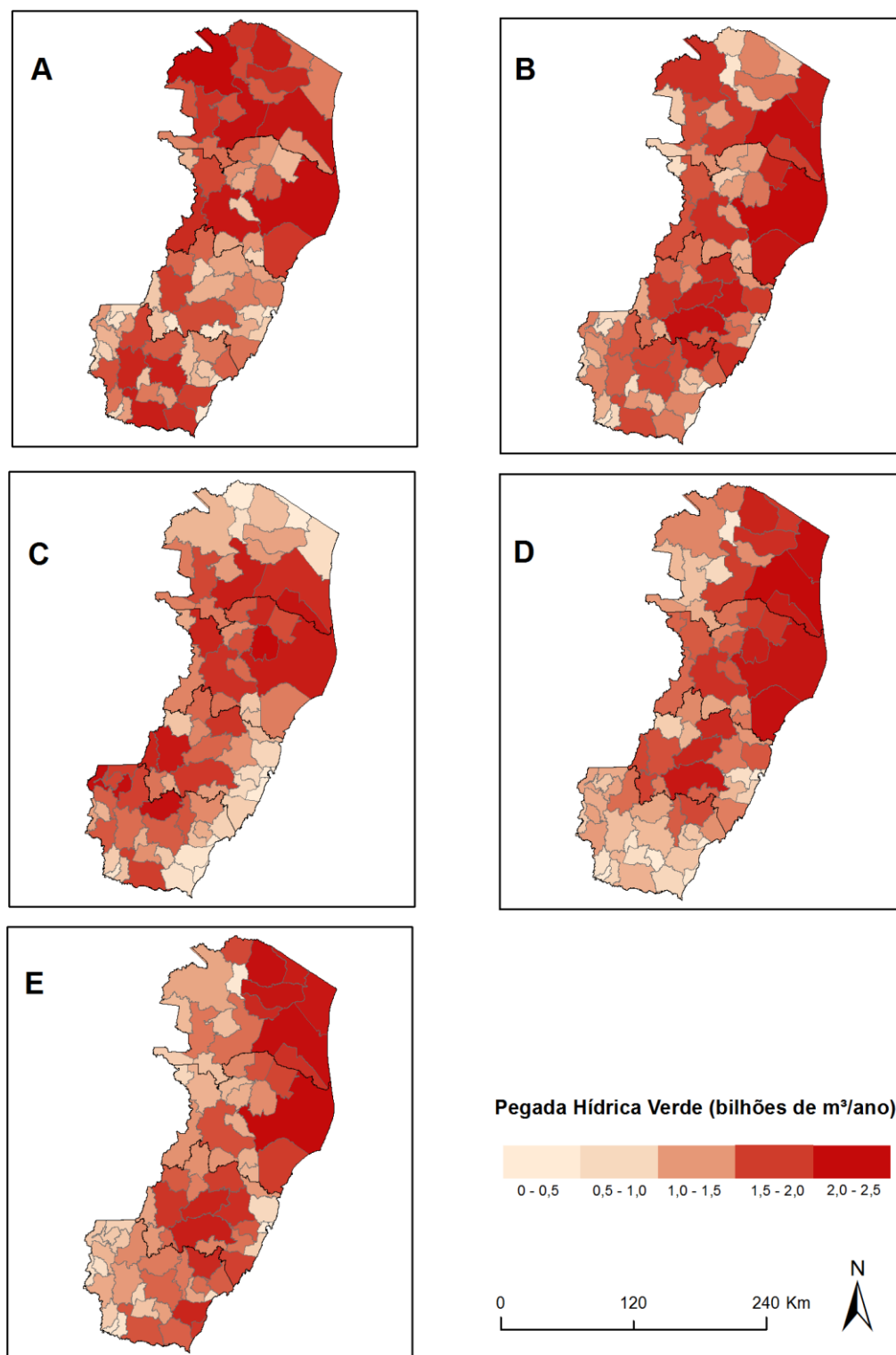
Na Figura 10 são apresentadas as pegadas hídricas para os principais tipos de uso da terra nos 78 municípios do estado. Como mencionado anteriormente, a classe com maior expressividade foi a pastagem (Figura 10A), sendo os maiores valores observados para Ecoporanga, com 2,10 bilhões de m<sup>3</sup>/ano, e Linhares, com 1,4 bilhões de m<sup>3</sup>/ano. Os demais municípios apresentaram valores abaixo de 1 bilhão de m<sup>3</sup>/ano.

Para a pegada hídrica verde da floresta (Figura 10B), o município com maior uso foi Linhares, com 1,7 bilhões de m<sup>3</sup>/ano, seguido de São Mateus e Domingos Martins, com 0,7 e 0,6 bilhões de m<sup>3</sup>/ano, respectivamente. Já os municípios que apresentam maior uso de água verde da classe café (Figura 10C) foram Rio Bananal, com 1,7 bilhões de m<sup>3</sup>/ano, Iúna, com 1,6 bilhões de m<sup>3</sup>/ano, Castelo, Afonso Cláudio e Jaguaré, apresentando 1,5 bilhões de m<sup>3</sup>/ano cada.

A quarta classe que apresentou maior uso de água da pegada verde foi a silvicultura (Figura 10D). Dentre os 78 municípios, os que apresentam maior volume de água utilizada para as culturas de eucalipto, seringueira e pinus, foram São Mateus, com 0,5 bilhões de m<sup>3</sup>/ano, seguido de Conceição da Barra e Aracruz, representando 0,4 bilhões de m<sup>3</sup>/ano cada.

Os municípios que apresentam maiores usos de água verde para a classe outros usos agrícolas (Figura 10E) foram Linhares, com 0,18 bilhões de m<sup>3</sup>/ano, seguido de São Mateus e Montanha, com 0,17 bilhões de m<sup>3</sup>/ano cada, e Piúma apresentando 0,16 bilhões de m<sup>3</sup>/ano.

Figura 10 – Pegada hídrica verde total da pastagem (A), floresta (B), café (C), silvicultura (D) e outros usos agrícolas (E) dos municípios do estado do Espírito Santo.



Na Figura 11 apresenta-se a relação entre o volume de água precipitado nas quatro macrorregiões e o quanto é incorporado na pegada verde. As áreas improdutivas (afloramento rochoso, área edificada, campo rupestre/altitude, extração mineração, massa d'água, solo exposto e outros) não foram contabilizadas nos cálculos de contabilizadas no volume de água incorporado da chuva.

Nota-se que a classe que mais incorpora a água verde é a pastagem, consumindo cerca de 41% na macrorregião Sul, 36% na Central e 53% na Norte. Isto se deve ao fato de as pastagens serem o uso da terra mais representativo no estado, com exceção da macrorregião Metropolitana. Nesta, a maior consumidora é a classe floresta, com 25% de todo o volume de chuva. A classe floresta também apresenta uma representatividade grande nas outras macrorregiões do estado (segunda maior), com cerca de 21% na macrorregião Sul, 28% na Central e 18% na Norte.

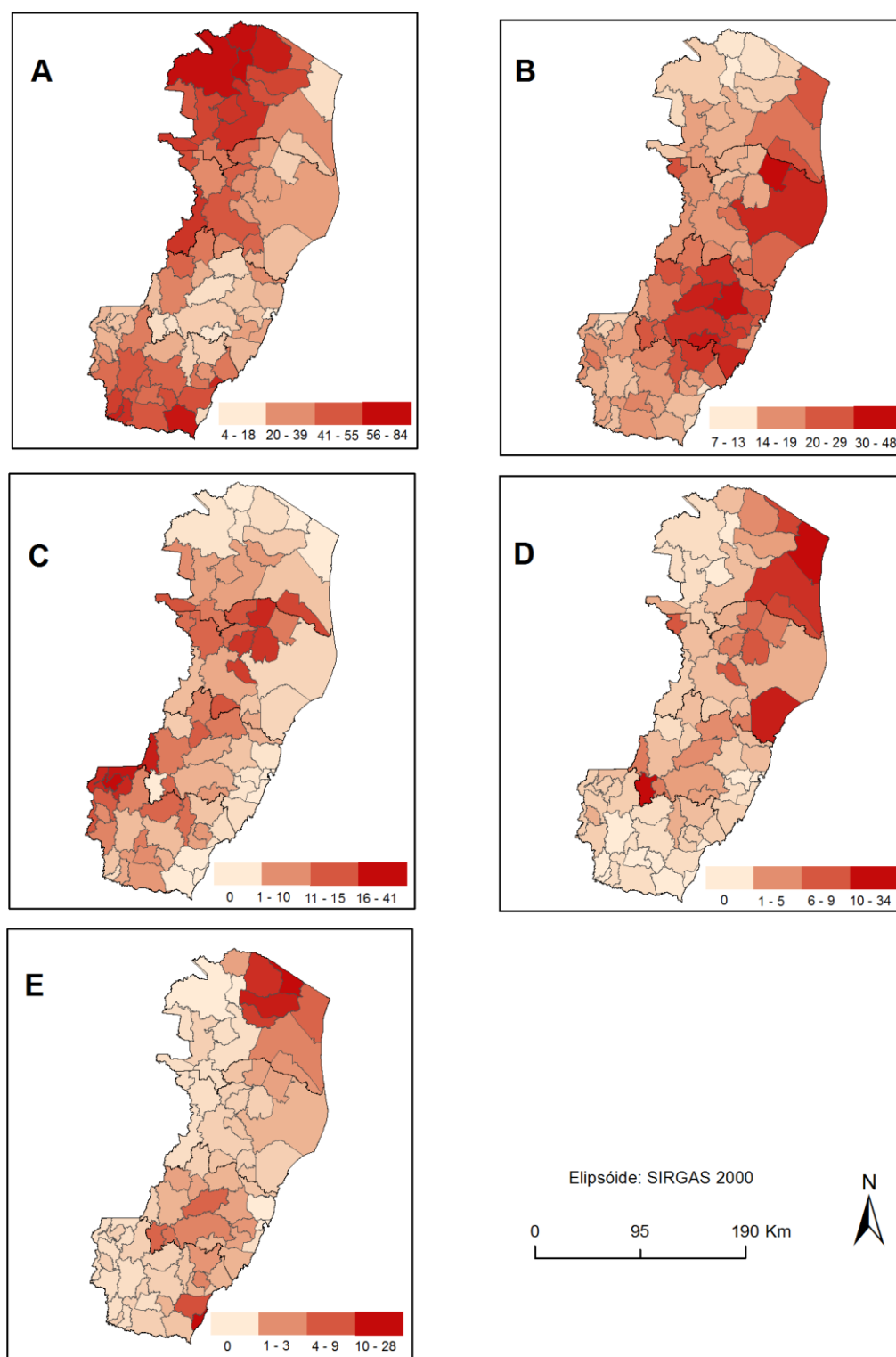
Leal (2016) também analisou a relação do volume de chuva precipitada com a pegada verde. Apesar dos procedimentos de cálculo serem relativamente diferentes, os resultados foram semelhantes, com a pastagem representando cerca de 40% de todo o volume de água da chuva, seguida da floresta.

Analisando-se a relação do volume de chuva com a pegada verde por município, em cada macrorregião, os municípios que consomem maior volume de água verde para as áreas de pastagem na macrorregião Sul são Presidente Kennedy, Bom Jesus do Norte, Piúma e Apiacá, representando um percentual de 59% a 66%. De acordo com Leal (2016), o município Presidente Kennedy também apresentou o maior consumo de água verde pela pastagem. Essas cidades apresentaram maiores valores devido a suas vastas áreas de pastagem, que representam mais de 70% dos seus territórios.

A macrorregião Metropolitana apresenta um percentual de 37% a 48% do volume de chuva utilizado para pastagem nos municípios Laranja da Terra, Itaguaçu, Afonso Cláudio e Fundão, os quais apresentam aproximadamente 50% de área de pastagem.

A macrorregião Central apresenta os municípios de Alto Rio Novo, Baixo Guandú, Colatina e São Domingos do Norte, com percentual de 51% a 58%, sendo municípios que apresentam em torno de 60% de área de pastagem.

Figura 11 – Volume da pegada verde da pastagem (A), floresta (B), café (C), silvicultura (D) e outros usos agrícolas (E) com relação ao de água precipitada nos municípios do estado do Espírito Santo.



Os municípios da macrorregião Norte, Ponto Belo, Ecoporanga, Mucurici e Montanha, consomem de 65% a 84% da chuva. Esses municípios apresentam os maiores valores em relação aos demais municípios do estado, pois seu percentual de áreas de pastagem é o mais elevado, com cerca de 80%.

Em relação ao consumo da floresta, os municípios Alfredo Chaves e Vargem Alta representam os maiores consumidores de água da chuva na macrorregião Sul, com 36% e 32%, respectivamente. Essas cidades apresentam maiores valores devido a suas áreas de mata nativa representarem cerca de 40% dos seus territórios.

Na Metropolitana, as cidades que consomem mais são Santa Leopoldina, Marechal Floriano e Santa Maria de Jetibá, apresentando de 41% a 45% de uso da chuva pelas florestas. Já na Central, Sooretama e Linhares representam os maiores consumidores da água da chuva, com 48% e 39% cada. Na macrorregião Norte, os municípios Jaguaré e Conceição da Barra consomem 32% e 30% da chuva, respectivamente.

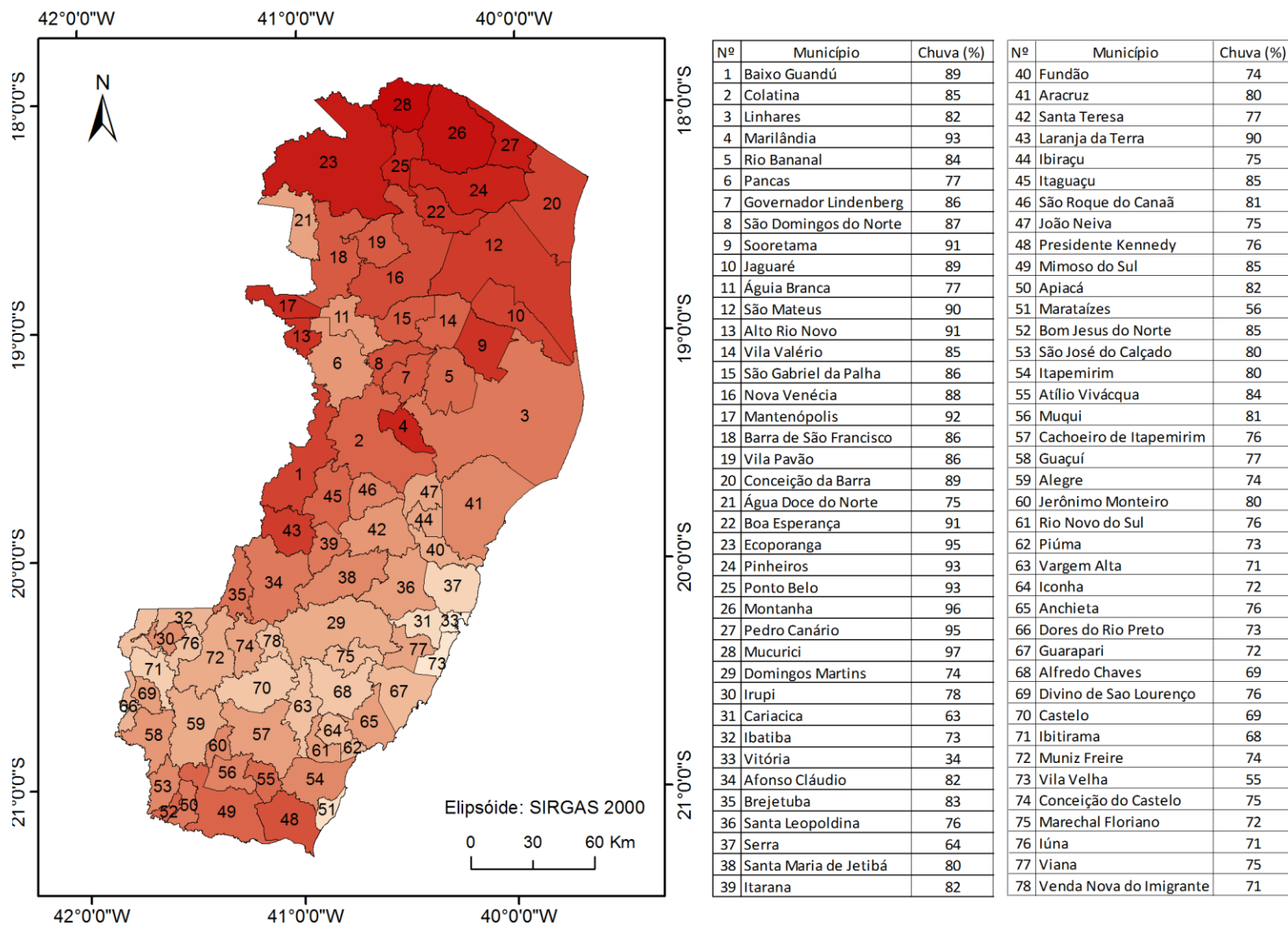
Na classe cafeicultura, os municípios Irupi e Ibatiba representam os maiores consumidores da macrorregião Sul, com 40% e 36% da chuva cada. A Metropolitana é representada pelo município de Brejetuba, com consumo de 31% de água precipitada. O município de Vila Valério representa o maior consumidor dentro da macrorregião Central. Na Norte, Jaguaré é maior consumidor, com percentual de 19% da chuva.

Já nas áreas de eucalipto, seringueira e pinus (silvicultura), os maiores consumidores são os municípios Conceição do Castelo (Metropolitana), Conceição da Barra (Norte) e Aracruz (Central), com percentuais de 34%, 24% e 34%, respectivamente.

Na Figura 12 apresenta-se os resultados de percentual total da água precipitada que é convertida em pegada verde consumida para cada município das quatro macrorregiões do estado.

Os municípios Presidente Kennedy (Sul), Laranja da Terra (Metropolitana), Marilândia (Central) e Mucurici (Norte) representam os maiores consumidores do volume total da água da chuva em cada macrorregião que são inseridos.

Figura 12 – Relação entre o volume total médio de água precipitada e a pegada hídrica verde no estado do Espírito Santo



Em relação às macrorregiões, a maior consumidora de água da chuva pela  $PH_{verde}$  é a macrorregião Norte, com cerca de 89%, que pode ser explicado devido a presença de grande área de pastagem, seguida da Central com 84%, da Sul com 76% e da Norte com 73%.

A água da chuva consumida para o uso das coberturas vegetais representa um percentual médio de 80% do total precipitado no estado, ou seja, a pegada hídrica verde é a principal consumidora de água superficial no estado. Dessa forma, a água que está disponível tem grande parte utilizada pelo processo de interceptação da vegetação. Com isso, essa água é absorvida e/ou retida no solo sem ocorrer a recarga nos corpos hídricos.

Em vários estudos relata-se que a produção agrícola é a principal consumidora de água verde, mostrando o papel de importância que o componente água verde possui (LIU; ZEHNDER; YANG, 2009; MEKONNEN; HOEKSTRA, 2010; MEKONNEN; HOEKSTRA, 2011; LEAL 2016).

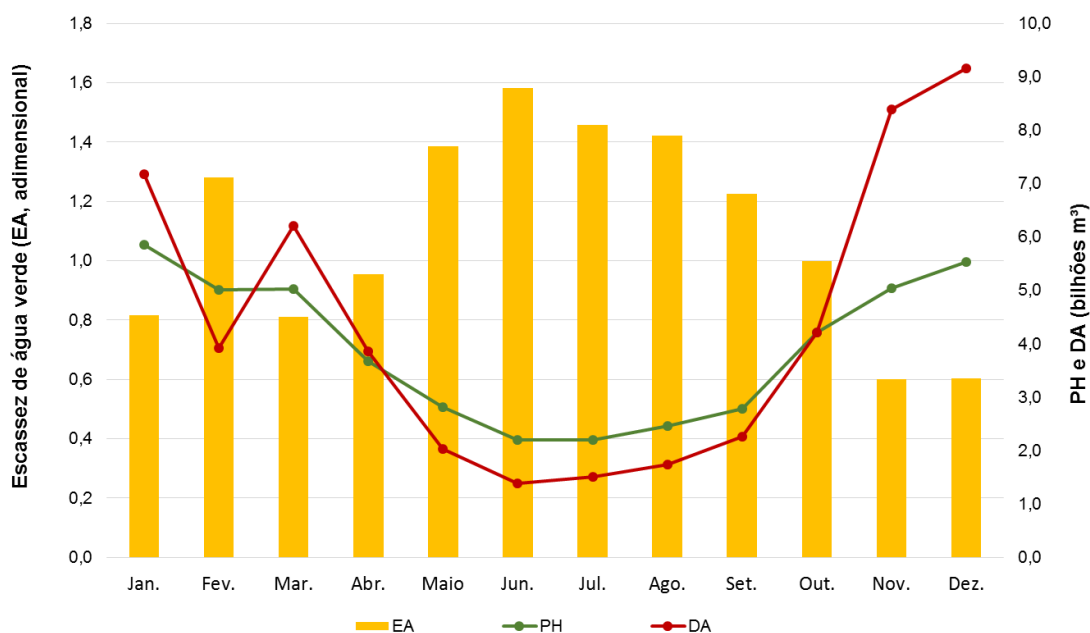
De acordo com Vanham e Bidoglio (2013), as campanhas de conscientização do uso da água são concentradas no uso da água para os setores doméstico e industrial; no entanto, maior atenção deveria ser dada para o consumo de água nos processos de produção agrícola. Schyns; Hoekstra; Booij (2015) relatam que os estudos de escassez da água devem ser focados não somente na água azul, mas principalmente na água verde, pois a mesma possui papel importante na produção de culturas, pastagens, silvicultura, como pode ser analisado através deste estudo.

### **5.3 Sustentabilidade da pegada hídrica verde**

A sustentabilidade da pegada hídrica verde é calculada de acordo com os indicadores de escassez de água (EA). Estes indicadores são baseados na disponibilidade de água verde (DA) e na pegada hídrica verde ( $PH_{verde}$ ) total utilizada mensalmente. Esta disponibilidade (DA) é advinda do processo de evapotranspiração total da água precipitada ( $ET_{verde}$ ), menos a

evapotranspiração da vegetação natural ( $ET_{amb}$ ) e da evapotranspiração de áreas improdutivas. Na Figura 13 são apresentados os resultados para a sustentabilidade ambiental mensal verde no estado do Espírito Santo.

Figura 13 – Sustentabilidade ambiental mensal da pegada verde no estado do Espírito Santo.



De acordo com os resultados representados na Figura 13, a pegada verde apresentou-se insustentável na maior parte dos meses do ano. Nos meses de maio a setembro esta insustentabilidade foi mais expressiva, com destaque para o mês de junho, com índice de escassez de 1,58, devido aos menores índices pluviométricos que ocorrem nesse período.

Em relação à disponibilidade de água verde, os meses que apresentaram maiores índices foram janeiro, março, novembro e dezembro, com 7,18; 6,20; 8,39 e 9,16 bilhões de  $m^3/mês$ , respectivamente. Em sete meses do ano houve excedência, em relação a pegada verde e a disponibilidade, com destaque para os meses de fevereiro, junho, julho e agosto, que apresentaram maiores índices.

Esse comportamento de insustentabilidade foi analisado também por Leal (2016), na bacia do rio Itapemirim, que obteve resultados semelhantes: sete meses do ano de maior representatividade de escassez de água verde, com

destaque também para o mês de junho, com 2,59 de escassez de água verde.

Quando se compara os valores de escassez de água, percebe-se que Leal (2016) obteve, sobretudo nos meses com menor precipitação (maio a setembro), valores de EA maiores que os obtidos neste estudo. Isto ocorreu pelo fato de ter sido considerado neste estudo a ETR, enquanto Leal (2016) utilizou a evapotranspiração potencial (ETP) para calcular a pegada hídrica verde das culturas, utilizando a ETR somente para as pastagens e as florestas. Além disso, Leal (2016) também utilizou uma base de dados diferentes deste estudo em relação os valores evapotranspiração. Ou seja, as estimativas da pegada verde das culturas foram realizadas por Leal (2016) como se ocorresse o uso de irrigação em todos os cultivos. Entretanto, pelo fato da grande maioria das culturas não serem irrigadas no estado, utilizou-se somente a ETR no presente estudo, visando a obtenção de melhores estimativas.

## 6. CONCLUSÕES

1. Os principais usos da terra no estado do Espírito Santo são pastagem (46,0%), incluindo macega (4,3%); mata nativa (21,9%), incluindo vegetação em estágio inicial de regeneração (6,3%) e restinga (0,3%); cafeicultura (8,6%); e eucalipto (5,8%), totalizando 82,3% da área do estado;
2. A pegada hídrica verde total no estado totalizou 47 bilhões de m<sup>3</sup>/ano de volume de água, sendo a classe de pastagem a maior consumidora de água verde no estado do Espírito Santo;
3. A relação entre o volume total médio de água precipitada e a pegada hídrica verde no estado foi de 80%, nas macrorregiões essa relação foi de 89% na Norte, 84% na Central, 76% na Sul e a 73% na Metropolitana.
4. A avaliação da pegada verde apresentou-se insustentável em seis meses do ano (fevereiro, e de maio a setembro), correspondendo em grande parte à estação de estiagem do estado.

## REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- ÁGUA BRASIL. **Pegada hídrica das bacias hidrográficas**. Brasília: Banco do Brasil, 2014. (Resumo Executivo).
- ALLEN, R. G. et al. **Crop evapotranspiration**: guidelines for computing crop water requirements. Rome: FAO, 1998.
- ALVARES, C. A. et al. Köppen's climate classification map for Brazil. **Meteorologische Zeitschrift**, v. 22, n. 6, p. 711–728, 1 dez. 2013.
- ALVES, M. E. B. et al. Estimate of the crop coefficient for Eucalyptus cultivated under irrigation during initial growth. **Cerne**, v. 19, n. 2, p. 247–253, jun. 2013.
- BRASIL. Lei nº 12.651, de maio de 2012. Dispõe sobre a proteção da vegetação nativa e dá outras providências. Diário Oficial da república Federativa do Brasil. Brasília, DF, 25 maio. 2012.
- CASTRO, F. DA S. et al. Uso de imagens de radar na espacialização da temperatura do ar. **Idesia (Arica)**, v. 28, n. 3, p. 69–79, dez. 2010.
- CECÍLIO, R. A. et al. Método para a espacialização dos elementos do balanço hídrico climatológico. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v. 47, n. 4, p. 478–488, abr. 2012.
- CONAB. Acompanhamento da safra brasileira de café, safra 2015. **Monitoramento Agrícola**, v. 2, n. 9, p. 1–104, 2015.
- CHAPAGAIN, A. K.; HOEKSTRA, A. Y. The blue, green and grey water footprint of rice from production and consumption perspectives. **Ecological Economics**, v. 70, n. 4, p. 749–758, fev. 2011.
- CHAPAGAIN, A. K.; HOEKSTRA, A. Y. The water footprint of coffee and tea consumption in the Netherlands. **Ecological Economics**, v. 64, n. 1, p. 109–118, out. 2007.
- DOHLER, R. E. **Comportamento do modelo hargreaves e samani em diferentes condições meteorológicas**. 2016. 66 f. Dissertação (Mestrado em Ciências Florestais) - Universidade Federal do Espírito Santo, Jerônimo Monteiro, 2016.
- EMPINOTTI, V. L., TADEU, N. D., MARTINS, R. DE S. Análise crítica da pegada hídrica cinza na produção de celulose. **Ambiente e Água**, v. 8, n. 3, p. 166–177, 2013.
- EMPINOTTI, V. L.; JACOBI, P. R. Novas práticas de governança da água? O

uso da pegada hídrica e a transformação das relações entre o setor privado, organizações ambientais e agências internacionais de desenvolvimento. **Desenvolvimento e Meio Ambiente**, v. 27, p. 23–36, 28 jun. 2013.

FAO – Organizações das Nações Unidas para Agricultura e Alimentação. **CROPWAT 8.0 model**. 2010. Disponível em: < [www.fao.org/nr/water/infores\\_databases\\_cropwat](http://www.fao.org/nr/water/infores_databases_cropwat)>. Acesso: em 26 set. 2016.

HARGREAVES, G. H.; SAMANI, Z. A. Reference crop evapotranspirations from ambient air temperature. **Applied Engineering in Agriculture**, v. 1, n. 2, p. 96–99, 1985.

HOEKSTRA, A. Y. et al. **The water footprint assessment manual**: setting the global standard. Washington: EARTHSCAN, 2011.

HOEKSTRA, A. Y. et al. Global monthly water scarcity: Blue water footprints versus blue water availability. **PLoS ONE**, v. 7, n. 2, 2012.

HOEKSTRA, A. Y.; MEKONNEN, M. M. The water footprint of industry. **PNAS**, v. 109, n. 9, p. 3232–3237, 2012.

IBÁ. **Relatório indústria brasileira de árvores 2015**. Brasília: IBÁ, 2015.

IBGE – Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística. **Censo Demográfico 2015**.

INCAPER – Instituto Capixaba de Pesquisa, Assistência Técnica e Extensão Rural. **Orientação e manejo adequado na recuperação de área degradada**. Vitória: DCM/Incaper, 2010.

INPE. TOPODATA. **Banco de dados geomorfométricos do Brasil**. Disponível em: <<http://www.dsr.inpe.br/topodata/index.php>>. Acesso: em 26 set. 2016.

INSTITUTO ESTADUAL DO MEIO AMBIENTE E RECURSOS HIDRICOS (IEMA) Vitória-ES. 2007-2008. Levantamento Aerofotogramétrico, Apoio de Campo, Aerotriangulação, elaboração Ortofotomosaicos, Modelo Digital de Elevação e Mapeamento da Cobertura Vegetal Nativa e do Uso das Terras, em escala igual, ou melhor, a 1/25.000, do Estado do Espírito Santo. Ortofotomosaico (RGB) 2007/2008 Pixel 1x1m, UTM, Datum WGS84, Zona 24s.1:15.000 PEC "A"(\*).

LEAL, A. P. P. N. **Pegada hídrica para a bacia hidrográfica do rio Itapemirim**. 2016. 69 f. Dissertação (Mestrado em Ciências Florestais) - Universidade Federal do Espírito Santo, Jerônimo Monteiro, 2016.

LEÃO, R. DE S. Pegada hídrica: visões e reflexões sobre sua aplicação. **Ambiente & Sociedade**, v. 16, n. 4, p. 159–162, dez. 2013.

LIU, J.; ZEHNDER, A. J. B.; YANG, H. Global consumptive water use for crop production: The importance of green water and virtual water. **Water Resources Research**, v. 45, n. 5, p. 1–15, maio 2009.

MARACAJÁ, K. F. B. et al. Pegada hídrica como indicador de sustentabilidade ambiental. **Revista de Administração, Contabilidade e Sustentabilidade**, v. 2, n. 2, p. 113–125, 2012.

MEKONNEN, M. M.; HOEKSTRA, A. Y. **National water footprint accounts: the green, blue and grey water footprint**. Delft: UNESCO - IHE, 2011. (Relatório, n. 50).

MEKONNEN, M. M.; HOEKSTRA, A. Y. **The green, blue and grey water footprint of crops and derived crop products**: Delft: UNESCO-IHE, 2010. (Relatório, n. 46).

MIRANDA, F. R. DE et al. Evapotranspiração e coeficientes de cultivo do coqueiro anão-verde na região litorânea do Ceará. **Ciência Agrônômica**, v. 38, n. 2, p. 129–135, 2007.

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

POSSE, R. P. et al. Evapotranspiração e coeficiente da cultura da cultura do mamoeiro. **Eng. Agríc.**, v. 28, n. 4, p. 681–690, 2008.

RIJSBERMAN, F. R. Water scarcity: Fact or fiction? **Agricultural Water Management**, v. 80, n. 1-3 SPEC. ISS., p. 5–22, 2006.

SCHYNS, J. F.; HOEKSTRA, A. Y.; BOOIJ, M. J. Review and classification of indicators of green water availability and scarcity. **Hydrology and Earth System Sciences**, v. 19, n. 11, p. 4581–4608, 18 nov. 2015.

SILVA, K. R. DA et al. Interpolação espacial da precipitação no Estado do Espírito Santo. **Floresta e Ambiente**, v. 18, n. 4, p. 417–427, 2011.

SILVA, K. R. et al. Zoneamento edafoclimático para a cultura da seringueira no Espírito Santo. **Irriga**, v. 18, n. 1, p. 1–12, 2013.

SILVA, V. DE P. R. DA et al. Medições e modelagem da pegada hídrica da cana-de-açúcar cultivada no Estado da Paraíba. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, v. 19, n. 6, p. 521–526, jun. 2015.

SOS MATA ATLÂNTICA; INSTITUTO NACIONAL DE PESQUISAS ESPACIAIS. **Atlas dos remanescentes florestais da mata atlântica período 2005-2008**. São Paulo: ArcPlan, 2009.

UPM-KYMMENE. **From forest to paper, the story of our water footprint**.

Nordland: UPM, 2011.

VANHAM, D.; BIDOGLIO, G. A review on the indicator water footprint for the EU28. **Ecological Indicators**, v. 26, n. 2013, p. 61–75, mar. 2013.

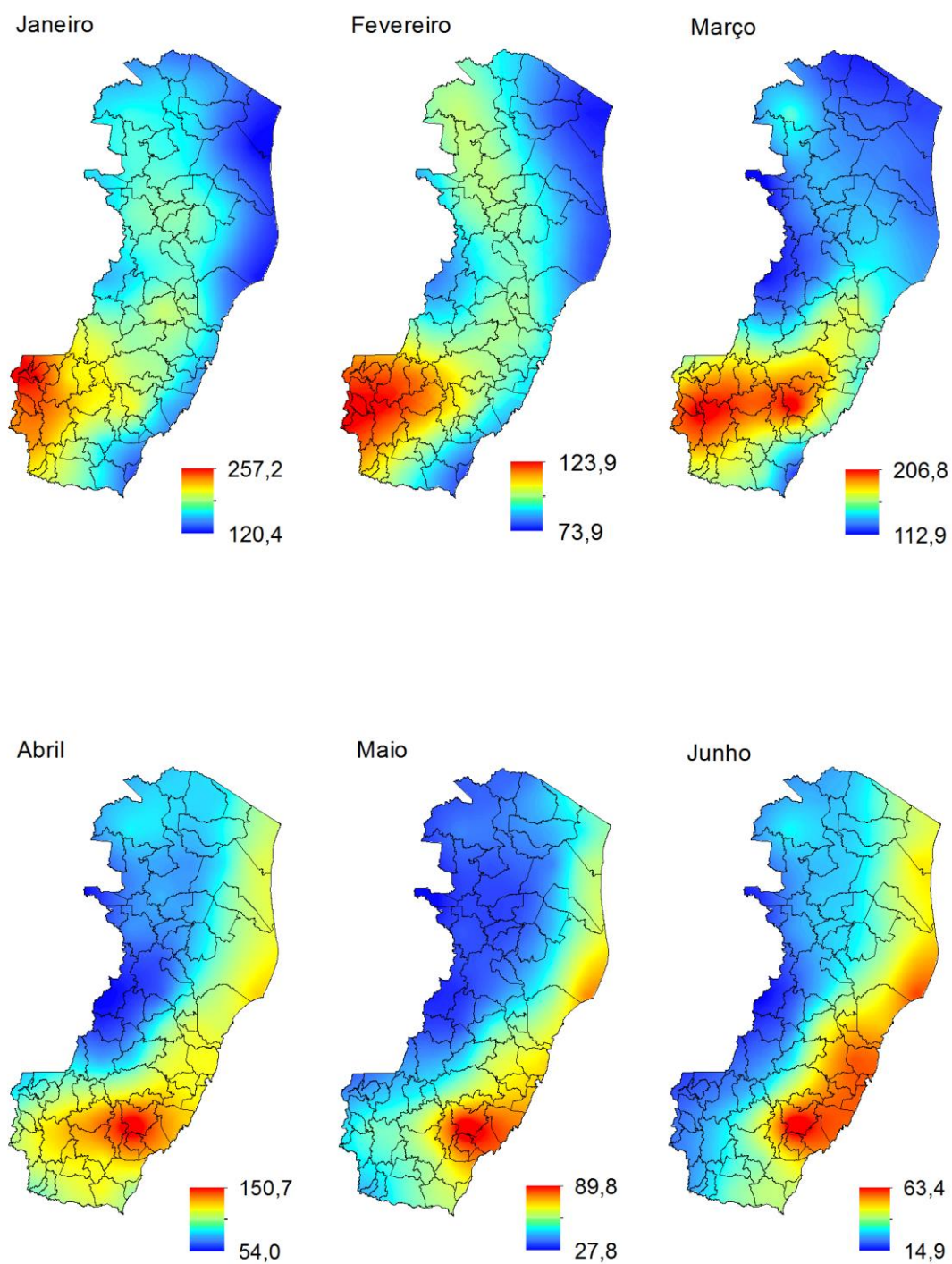
VAN OEL, P. R.; HOEKSTRA, A. Y. **The green and blue water footprint of paper products: methodological considerations and quantification**. Delf: UNESCO-IHE, 2010. (Relatório, n. 46).

VÖRÖSMARTY, C. J., GREEN, P., SALISBURY, J., LAMMERS, R. B. Global water resources: Vulnerability from climate change and population growth. **Science**, v. 289, 284–288, 2000.

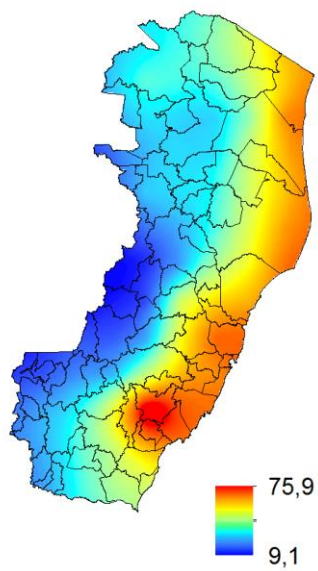
WADA, Y. et al. Global monthly water stress: 2. Water demand and severity of water stress. **Water Resources Research**, v. 47, n. 7, p. 1–17, jul. 2011.

XAVIER, A. C.; KING, W.; SCANLON, B. R. Daily gridded meteorological variables in Brazil ( 1980 – 2013 ). **Internacional Journal of Climatology**, v. 36, n. 6, p. 2644–2659, 2016.

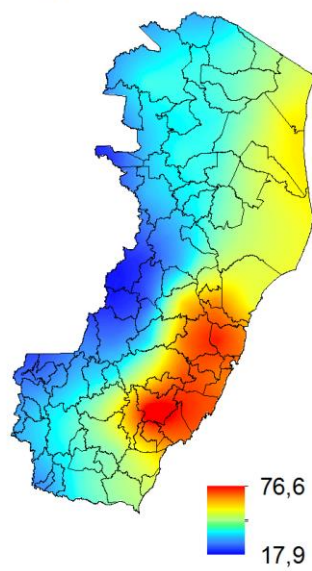
## APÊNDICE A – Precipitação (mm) média mensal do estado do Espírito Santo.



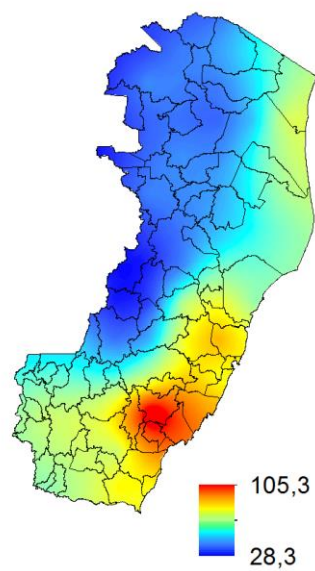
Julho



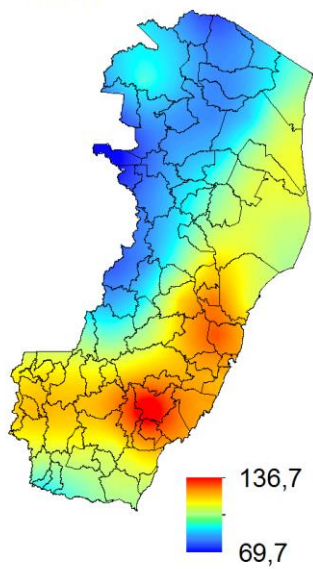
Agosto



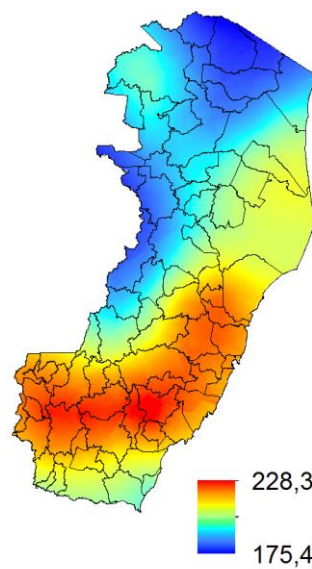
Setembro



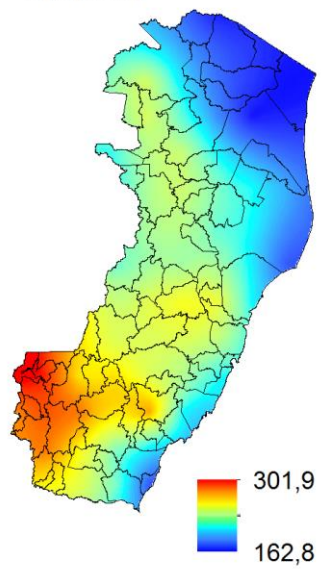
Outubro



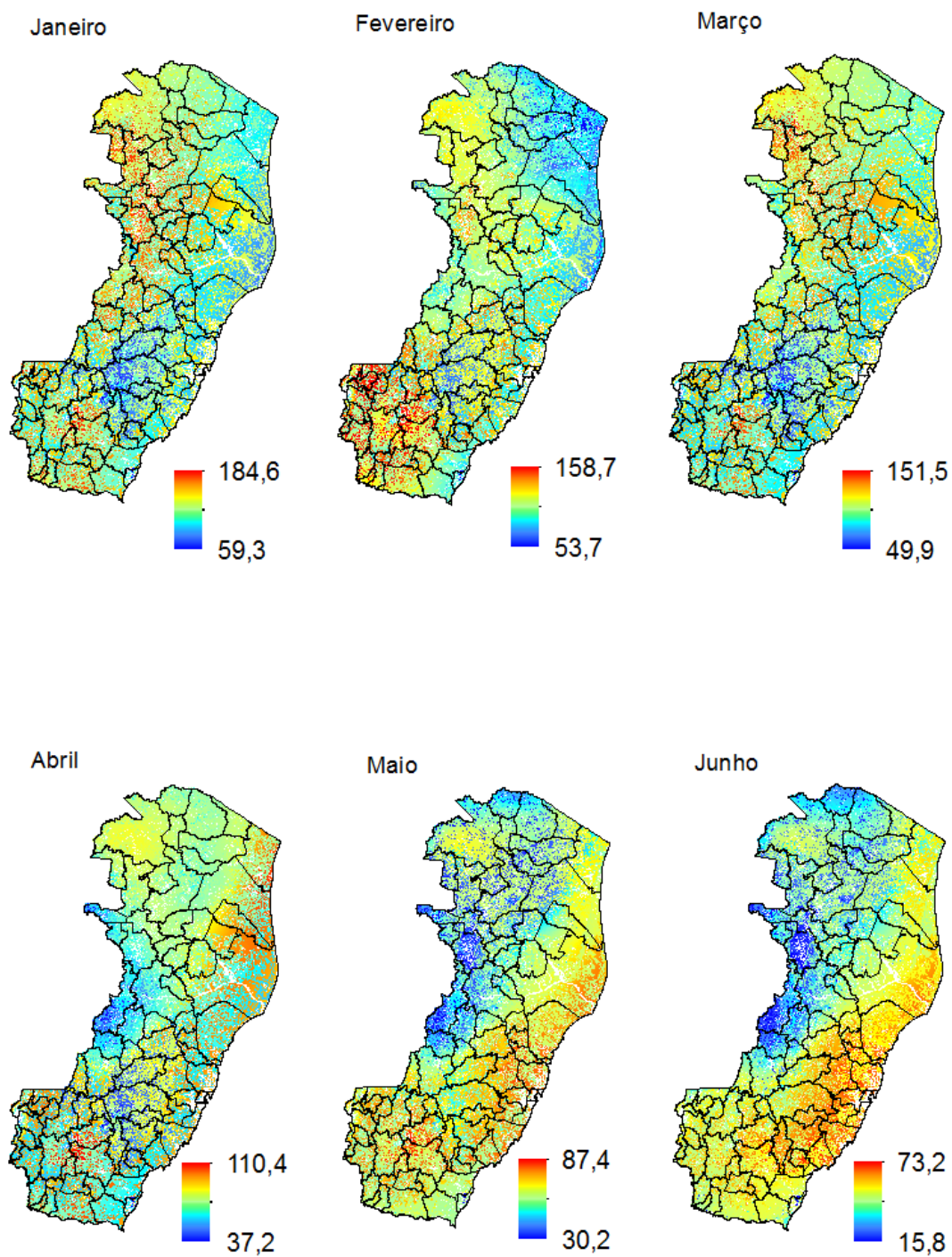
Novembro



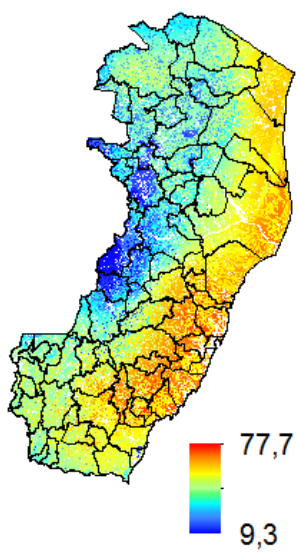
Dezembro



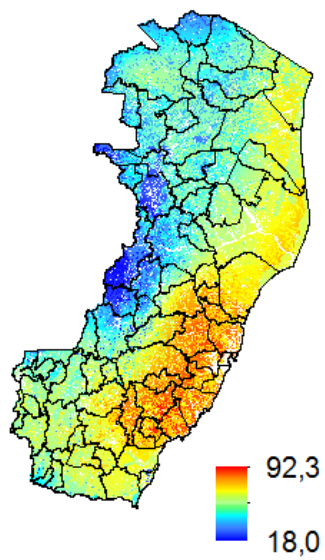
APÊNDICE B – Evapotranspiração real (mm) média mensal do estado do Espírito Santo.



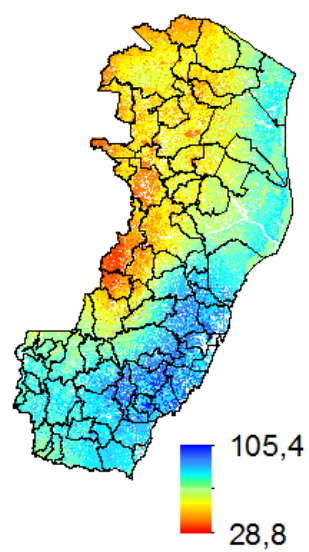
Julho



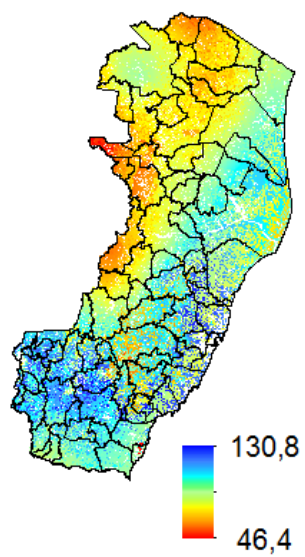
Agosto



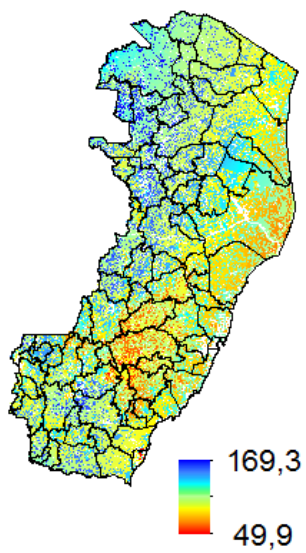
Setembro



Outubro



Novembro



Dezembro

