



**MARCOS DJUN BARBOSA WATANABE**

**"AGRICULTURA, PASTAGENS E MATA NATIVA:  
CÁLCULO E SIMULAÇÃO DOS VALORES MONETÁRIOS  
DOS FLUXOS HIDROLÓGICOS E DO CARBONO NA  
BACIA DO TAQUARIZINHO UTILIZANDO A  
METODOLOGIA EMERGÉTICA"**

**CAMPINAS  
2012**





**UNIVERSIDADE ESTADUAL DE CAMPINAS  
FACULDADE DE ENGENHARIA DE ALIMENTOS**

**MARCOS DJUN BARBOSA WATANABE**

**"AGRICULTURA, PASTAGENS E MATA NATIVA: CÁLCULO E  
SIMULAÇÃO DOS VALORES MONETÁRIOS DOS FLUXOS  
HIDROLÓGICOS E DO CARBONO NA BACIA DO TAQUARIZINHO  
UTILIZANDO A METODOLOGIA EMERGÉTICA"**

**Orientador/supervisor: Prof. Dr. Enrique Ortega Rodriguez**

Tese de Doutorado apresentada ao Programa de Pós- Graduação em Engenharia de Alimentos da Faculdade de Engenharia de Alimentos da Universidade Estadual de Campinas para a obtenção do título de Doutor em Engenharia de Alimentos.

**ESTE EXEMPLAR CORRESPONDE À VERSÃO FINAL DA TESE  
DEFENDIDA PELO ALUNO MARCOS DJUN BARBOSA WATANABE  
E ORIENTADA PELO PROF. DR. ENRIQUE ORTEGA RODRIGUEZ**

*Assinatura do Orientador*

---

**CAMPINAS  
2012**

FICHA CATALOGRÁFICA ELABORADA POR  
LUCIANA P. MILLA – CRB8/8129- BIBLIOTECA DA FACULDADE DE  
ENGENHARIA DE ALIMENTOS – UNICAMP

W29a Watanabe, Marcos Djun Barbosa  
Agricultura, pastagens e mata nativa: cálculo e  
simulação dos valores monetários dos fluxos hidrológicos  
e do carbono na Bacia do Taquarizinho utilizando a  
metodologia emergética / Marcos Djun Barbosa  
Watanabe. -- Campinas, SP: [s.n], 2012.

Orientador: Enrique Ortega Rodriguez.  
Tese (doutorado) – Universidade Estadual de  
Campinas. Faculdade de Engenharia de Alimentos.

1. Serviços ecossistêmicos. 2. Avaliação emergética.  
3. Modelagem. 4. Ciclos biogeoquímicos. 5.  
Contabilidade ambiental. I. Ortega Rodriguez, Enrique.  
II. Universidade Estadual de Campinas. Faculdade de  
Engenharia de Alimentos. III. Título.

Informações para Biblioteca Digital

Título em inglês: Agriculture, pastures and native vegetation: modeling and  
simulation of monetary values related to water and carbon flows in  
Taquarizinho river basin using emergy

Palavras-chave em inglês (Keywords):

Ecosystem services

Emergy assessment

Modeling

Biogeochemical cycles

Environmental accounting

Área de concentração: Engenharia de Alimentos

Titulação: Doutor em Engenharia de Alimentos

Banca examinadora:

Enrique Ortega Rodriguez [Orientador]

Ivan Bergier Tavares de Lima

João Alfredo de Carvalho Mangabeira

Luís Alberto Ambrósio

Mario Vito Comar

Data da defesa: 24/08/2012

Programa de Pós Graduação: Engenharia de Alimentos

**BANCA EXAMINADORA**

---

**Dr. ENRIQUE ORTEGA RODRIGUEZ**

TITULAR

---

**Dr. IVAN BERGIER TAVARES DE LIMA**

TITULAR

---

**Dr. JOÃO ALFREDO DE CARVALHO MANGABEIRA**

TITULAR

---

**Dr. LUÍS ALBERTO AMBRÓSIO**

TITULAR

---

**Dr. MARIO VITO COMAR**

TITULAR

---

**Dr. JOSÉ MARIA GUSMAN FERRAZ**

SUPLENTE

---

**Dr. JOÃO DOS SANTOS VILA DA SILVA**

SUPLENTE

---

**Dra. MARLEI ROLING SCARIOT**

SUPLENTE



"MINHA TERRA TEM PALMEIRAS,  
ONDE CANTA O SABIÁ;  
AS AVES, QUE AQUI GORJEIAM,  
NÃO GORJEIAM COMO LÁ.

NOSSO CÉU TEM MAIS ESTRELAS,  
NOSSAS VÁRZEAS TÊM MAIS FLORES,  
NOSSOS BOSQUES TÊM MAIS VIDA,  
NOSSA VIDA MAIS AMORES.

EM CISMAR, SOZINHO, À NOITE,  
MAIS PRAZER EU ENCONTRO LÁ;  
MINHA TERRA TEM PALMEIRAS,  
ONDE CANTA O SABIÁ.

MINHA TERRA TEM PRIMORES,  
QUE TAIS NÃO ENCONTRO EU CÁ;  
EM CISMAR ,SOZINHO, À NOITE  
MAIS PRAZER EU ENCONTRO LÁ;  
MINHA TERRA TEM PALMEIRAS,  
ONDE CANTA O SABIÁ.

NÃO PERMITA DEUS QUE EU MORRA,  
SEM QUE EU VOLTE PARA LÁ;  
SEM QUE DESFRUTE OS PRIMORES  
QUE NÃO ENCONTRO POR CÁ;  
SEM QU'INDA AVISTE AS PALMEIRAS,  
ONDE CANTA O SABIÁ. "

*Canção do Exílio*

*Gonçalves Dias.*

*Escrita em 1843, em Coimbra, Portugal.  
O poema é uma alusão à pátria distante, o Brasil.*



## **AGRADECIMENTOS**

O autor agradece à Fundação de Amparo à Pesquisa do Estado de São Paulo (FAPESP) pela bolsa de estudo e suporte financeiro para a realização dessa tese. Também ao apoio dos pesquisadores João Villa e Letícia Namorato (Embrapa Informática Agropecuária) através da disponibilização de mapas. Ao professor Antônio Paranhos Filho (Universidade Federal do Mato Grosso do Sul) pela concessão das cartas de ocupação e uso do solo. Aos pesquisadores Ivan Bergier (Embrapa Pantanal) e Edson Franco (Cooperativa Agropecuária de São Gabriel do Oeste) pelo acompanhamento durante a visita à Bacia do Taquarizinho. Ao pesquisador Sérgio Galdino (Embrapa Pantanal) pelas informações sobre bacias hidrográficas na região da Bacia do Alto Paraguai.

Aos pais (Mario e Zeneide), aos irmãos (Tiago e Ana Claudia), aos irmãos de república (Américo, Bruno, Daniel, Marcelo e Rodrigo), à namorada Carolina e aos amigos de Unicamp (Alexandre, Andrea, César, Consuelo, Fábio, Fabi, Felipe, Feni, Follegatti, Guilherme, Lucas, Marlei, Marquinho, Nenis, Otavio, Raul, Sayoko, Selene, Vitor e Wagner) por todos os momentos que permearam a construção desse trabalho.



## SUMÁRIO

RESUMO .....	xxiii
SUMMARY .....	xxv
1. Introdução.....	1
1.1 Hipóteses .....	3
2. Objetivos.....	3
3.Revisão bibliográfica .....	4
3.1 Agricultura e mudança de uso e ocupação do solo.....	4
3.2 Impactos da mudança de uso da terra nos serviços ecossistêmicos.....	5
3.3 Valoração emergética de serviços ecossistêmicos .....	9
3.4 Modelagem e simulação de ecossistemas .....	11
4. Material e métodos .....	12
4.1 Área de estudo.....	13
4.2. Construção do modelo hidrológico para a bacia hidrográfica .....	15
4.3 Equações do modelo hidrológico da bacia do Taquarizinho .....	18
4.4 Coleta de dados para calibração do modelo hidrológico.....	19
4.4.1 Calibração dos valores dos estoques .....	19
4.4.2 Calibração dos valores dos fluxos.....	21
4.5 Validação do modelo hidrológico 1995-1996.....	27
4.6 Fator de escoamento superficial.....	32
4.7 Cálculo do fator de escoamento superficial.....	34
4.8 Resultados do modelo hidrológico 1995-1996 .....	42
4.9 Dinâmica emergética do modelo hidrológico .....	47
4.9.1 Emergia por volume considerando o método de co-produtos .....	50
4.9.2 Emergia por volume considerando método de distribuição (split) .....	53
4.9.3 Emergia por volume considerando método igualdade de emergia (equal emergy) .....	56
4.10 Dinâmica de valores monetários dos serviços hidrológicos .....	59
4.10.1 Valores monetários por metro cúbico de água.....	60
4.10.2 Valores monetários por serviço hidrológico na Bacia do Taquarizinho .....	63
4.11.Modelo hidro-carbono .....	67
4.11.1 Equações do modelo hidro-carbono .....	71
4.12 Coleta de dados para calibração do modelo hidrocarbono .....	77
4.12.1 Calibração dos valores dos estoques do modelo hidrocarbono .....	77
4.12.2 Calibração dos valores dos fluxos.....	80
4.13 Validação do modelo hidro-carbono 2006-2008.....	88

5. Resultados.....	96
5.1 Impacto do uso e ocupação do solo nos serviços hidrológicos.....	96
5.2 Resultados do modelo hidro-carbono para 2006-2008 .....	116
5.3. Dinâmica emergética dos serviços de carbono .....	126
5.3.1. Valoração emergética por tonelada de carbono .....	134
5.3.2. Valoração emergética por serviço de carbono na Bacia do Taquarizinho.....	137
5.4 Impacto do uso e ocupação do solo nos fluxos e estoques de carbono .....	140
5.5 Valoração monetária dos trade-offs devido à mudança de uso da terra.....	147
6. Construção de cenários .....	153
6.1 Cenário 1: predomínio da agricultura .....	153
6.2 Cenário 2: predomínio pastagens.....	156
6.4. Cenário 3: business as usual.....	158
6.4 Cenário 4: agricultura sustentável .....	161
6.5.1 Serviços hidrológicos.....	168
6.5.2 Serviços do carbono .....	183
6.5.3 Serviços agregados: hidrológicos e do carbono .....	195
6.6 Trade-offs associados à mudança de uso da terra .....	197
6.7 Perfil de geração de serviços ecossistêmicos .....	199
7. Discussão .....	200
8. Conclusão.....	208
9. Referências .....	211
Anexo I. Símbolos do diagrama emergético .....	218
Anexo II. Interface do modelo hidrológico (MS Excel®) .....	219
Anexo III. Interface do modelo hidrocarbono (MS Excel®).....	226
Anexo IV. Método de Tennant.....	231
Anexo V. Cálculo da dimensão média dos canais da bacia do Taquarizinho .....	233
Anexo VI. Imagens da Bacia do Taquarizinho .....	234
Anexo VII. Tabelas com valores de calibração dos cenários .....	236
Anexo VIII. Perfil de prestação de serviços ecossistêmicos para cada cenário.....	252

## ÍNDICE DE FIGURAS

FIGURA 1. REPRESENTAÇÃO DA BACIA DO TAQUARIZINHO (FONTE: OLIVEIRA, 2007). ....	14
FIGURA 2. REPRESENTAÇÃO DE MODELO HIDROLÓGICO PARA A BACIA DO TAQUARIZINHO. ....	16
FIGURA 3. ÁREA DELIMITADA QUE INCLUI A BACIA DO TAQUARIZINHO PARA ACESSO DOS DADOS LAND MODIS (ORNL DAAC, 2010), PRODUTO MOD16A2 (EVAPOTRANSPIRAÇÃO). ....	22
FIGURA 4. LOCALIZAÇÃO DAS 33 SUB-BACIAS DO TAQUARIZINHO, IMAGEM DE BACCHI (2007). ....	34
FIGURA 5. COMPARATIVO DE USO DO SOLO EM 1966 E 1996. A DENOMINAÇÃO “OUTROS” REFERE-SE A PRINCIPALMENTE A ZONA URBANA E ÁGUA (EMBRAPA CNPTIA, 2011). ....	38
FIGURA 6. REPRESENTAÇÃO DAS ENTRADAS DE EMERGIA (S:SOL, R: CHUVA, CF+GW:ESCOAMENTO DE BASE) E SAÍDAS DE ÁGUA NA BACIA: EVAPOTRANSPIRAÇÃO (J8+J9+J13), A DESCARGA DE ÁGUA PELO CANAL (J18+J19) E A RECARGA DO AQUÍFERO (J15).....	47
FIGURA 7A. ILUSTRAÇÃO DA AUSÊNCIA DE BALANÇO DE EMERGIA NA ABORDAGEM DE CO-PRODUTOS .....	51
FIGURA 8A. ILUSTRAÇÃO DA PRESENÇA DE BALANÇO DE EMERGIA NA ABORDAGEM <i>SPLIT</i> .....	54
FIGURA 9A. ILUSTRAÇÃO DA PRESENÇA DE BALANÇO DE EMERGIA NA ABORDAGEM <i>EQUAL EMERGY</i> .....	57
FIGURA 10. REPRESENTAÇÃO DO MODELO HIDRO-CARBONO. CB: CARBONO NA BIOMASSA; AGBC: BIOMASSA ACIMA DO SOLO; BGBC: BIOMASSA ABAIXO DO SOLO; LDC: LITEIRA E DETRITOS; LC: LITEIRA ACIMA DO SOLO; DC: DETRITOS ABAIXO DO SOLO; SC: CARBONO TOTAL DO SOLO. ....	69
FIGURA 11. FLUXOGRAMA DE ETAPAS ENVOLVIDAS NA CONCEPÇÃO DO MODELO E SUAS EQUAÇÕES. ....	72
FIGURA 12. MAPA DE USO DO SOLO NA BACIA DO TAQUARIZINHO NO ANO DE 2007 (EMBRAPA CNPTIA, 2011). ....	78
FIGURA 13. USO DO SOLO NO POLÍGONO PRÓXIMO AO MUNICÍPIO DE PARAÍSO-MS, POLÍGONO NOMEADO <i>COMPLET 116</i> (ORNL DAAC, 2010). ....	119
FIGURA 14. REPRESENTAÇÃO DA EVAPOTRANSPIRAÇÃO E DOS SERVIÇOS ECOSISTÊMICOS DO CICLO DO CARBONO A ELA ASSOCIADOS.....	129
FIGURA 15. ILUSTRAÇÃO DAS ENTRADAS DE EMERGIA PARA A GERAÇÃO DOS SERVIÇOS DO CARBONO. ....	135
FIGURA 16. ATRIBUIÇÃO DOS FLUXOS DE EMERGIA DIA 01/01/2006 PARA OS SERVIÇOS DO CARBONO. ....	135
FIGURA 17. VALORES DE EMERGIA POR MASSA SIMULADOS PARA OS SERVIÇOS DE ACÚMULO DE CARBONO NA BIOMASSA, NA LITEIRA E NO SOLO NO DIA 01/01/2006. ....	136
FIGURA 18. NASCENTE DO RIO TAQUARIZINHO. ....	234
FIGURA 19. EXUTÓRIO DO RIO TAQUARIZINHO.....	234
FIGURA 20. AGRICULTURA DE PLANTIO DIRETO.....	234
FIGURA 21. ÁREA DE CERRADO NATIVO. ....	235
FIGURA 22. ÁREA DE PASTAGEM COM MANEJO. ....	235
FIGURA 23. ÁREA DE PASTAGEM SEM MANEJO. ....	235



## ÍNDICE DE TABELAS

TABELA 1. CONDIÇÃO DOS SERVIÇOS DE PROVISÃO, REGULAÇÃO E CULTURAIS EM ESCALA GLOBAL .....	6
TABELA 2. DESCRIÇÃO DAS INFORMAÇÕES DE ENTRADAS, FLUXOS E ESTOQUES PARA CALIBRAÇÃO DE MODELO DA BACIA DO TAQUARIZINHO.....	25
TABELA 3. FATORES DA EQUAÇÃO USLE BASEADO EM BACCHI (2007) ADEQUADOS PARA MAPEAMENTO DE 1996 (EMBRAPA CNPTIA, 2011). .....	35
TABELA 4. FATORES DA EQUAÇÃO USLE BASEADO EM BACCHI (2007) ADEQUADOS PARA MAPEAMENTO DE 1966 (EMBRAPA CNPTIA, 2011). .....	40
TABELA 5. CÁLCULO DO EMPOWER INPUT NA BACIA DO TAQUARIZINHO NO DIA 1/01/1995. ....	49
TABELA 6. VALORES MÉDIOS DE EMERGIA POR VOLUME DOS FLUXOS DE ÁGUA DA BACIA DO TAQUARIZINHO ENTRE 1995 E 1996. ....	59
TABELA 7. VALORES MONETÁRIOS MÉDIOS PARA ÁGUA DOS FLUXOS DE SAÍDA DA BACIA DO TAQUARIZINHO EM 1995 E 1996, ATRAVÉS DAS TRÊS METODOLOGIAS DIFERENTES.....	60
TABELA 8. CRITÉRIOS QUE FUNDAMENTAM A ABORDAGEM <i>SPLIT</i> COMO A IDEAL PARA VALORAÇÃO DOS SERVIÇOS ECOSISTÊMICOS NO MODELO CONSTRUÍDO PARA DIFERENTES CENÁRIOS DE USO E OCUPAÇÃO DO SOLO. ....	67
TABELA 9. FATORES DA EQUAÇÃO USLE BASEADO EM BACCHI (2007) ADEQUADOS PARA OCUPAÇÃO EM 2007 (EMBRAPA CNPTIA, 2011). ....	81
TABELA 10. CÁLCULO DA PERDA DE CARBONO VIA RUNOFF NA BACIA DO TAQUARIZINHO (ANO BASE 2007).....	85
TABELA 11. DESCRIÇÃO DAS INFORMAÇÕES DE ENTRADAS, FLUXOS E ESTOQUES PARA CALIBRAÇÃO DE MODELO HIDROCARBONO, ANOS 2006-2008. ....	89
TABELA 12. FATORES DA EQUAÇÃO USLE BASEADO EM BACCHI (2007) ADEQUADOS PARA OCUPAÇÃO INTEGRAL POR VEGETAÇÃO NATIVA, CENÁRIO PRESERVADO.....	99
TABELA 13. DESCRIÇÃO DAS INFORMAÇÕES DE ENTRADAS, FLUXOS E ESTOQUES PARA CALIBRAÇÃO DE MODELO DO TAQUARIZINHO, CENÁRIO PRESERVADO. ....	101
TABELA 14. COMPARATIVO DE VALORES DE FLUXOS SIMULADOS PARA CONDIÇÃO PRIMITIVA E DE 1995-1996. ....	105
TABELA 15. LÍMITES DE VAZÃO ECOLÓGICA PRIMITIVA PARA O RIO TAQUARIZINHO BASEADO EM TENNANT (1976). ....	108
TABELA 16. EFEITO DA MUDANÇA DE USO E OCUPAÇÃO DO SOLO NO SERVIÇOS HIDROLÓGICOS GERADOS NA BACIA DO TAQUARIZINHO, COMPARAÇÃO ENTRE USO 1995-1996 E USO PRESERVADO (ASPECTO DE PROVISÃO DE ÁGUA). ....	112
TABELA 17. EFEITO DA MUDANÇA DE USO E OCUPAÇÃO DO SOLO NO SERVIÇOS HIDROLÓGICOS GERADOS NA BACIA DO TAQUARIZINHO, COMPARAÇÃO ENTRE USO 1995-1996 E USO PRESERVADO (ASPECTO DE REGULAÇÃO HIDROLÓGICA). ....	116
TABELA 18. DESCRIÇÃO DAS INFORMAÇÕES DE ENTRADAS, FLUXOS E ESTOQUES PARA CALIBRAÇÃO DE MODELO HIDRO-CARBONO, CENÁRIO PRESERVADO.....	131
TABELA 19. CÁLCULO DO EMPOWER INPUT PARA O CICLO DO CARBONO EM TODA A BACIA DO TAQUARIZINHO NO DIA 1/01/2006. ....	134
TABELA 20. VALORES MONETÁRIOS PARA A TONELADA DE CARBONO , UTILIZANDO A ABORDAGEM <i>SPLIT</i> , PARA A BACIA DO TAQUARIZINHO NO PERÍODO DE 2006-2008. ....	136

TABELA 21. EFEITO SIMULADO DA MUDANÇA DE USO DA TERRA AO LONGO DE TRÊS ANOS, COMPARANDO-SE OS ESTOQUES E FLUXOS DOS CENÁRIOS PRESERVADO E 2006-2008. ....	146
TABELA 22. EFEITO DA MUDANÇA DE USO DA TERRA AO LONGO DE TRÊS ANOS NOS SERVIÇOS DO CARBONO, COMPARANDO-SE OS ESTOQUES E FLUXOS DOS CENÁRIOS PRESERVADO E 2006-2008. ....	152
TABELA 23. TENDÊNCIAS DE MUDANÇA DE USO DA TERRA NA BACIA DO TAQUARIZINHO ENTRE 1966-2006. ....	159
TABELA 24. OCUPAÇÃO PERCENTUAL DA BACIA ESTIMADA PARA O ANO 2026, DO CENÁRIO 3. ....	159
TABELA 25. SÍNTESE DAS INFORMAÇÕES DE ENTRADAS, FLUXOS E ESTOQUES PARA A CALIBRAÇÃO DOS CENÁRIOS CONSIDERADOS NO MODELO. ....	165
TABELA 26. FLUXOS DE ÁGUA AO LONGO DE TRÊS ANOS DE SIMULAÇÃO PARA OS CENÁRIOS DE OCUPAÇÃO DA BACIA DO TAQUARIZINHO NO ANO 2026. ....	181
TABELA 27. FLUXOS MONETÁRIOS AO LONGO DE TRÊS ANOS DE SIMULAÇÃO DOS CENÁRIOS DE OCUPAÇÃO DA BACIA DO TAQUARIZINHO NO ANO 2026. ....	182
TABELA 28. FLUXOS DO CARBONO AO LONGO DE TRÊS ANOS DE SIMULAÇÃO PARA OS CENÁRIOS DE OCUPAÇÃO DA BACIA DO TAQUARIZINHO EM 2026. ....	193
TABELA 29. FLUXOS MONETÁRIOS DO CARBONO AO LONGO DE TRÊS ANOS DE SIMULAÇÃO PARA OS CENÁRIOS DA BACIA DO TAQUARIZINHO EM 2026. ....	194
TABELA 30. SERVIÇOS HIDROLÓGICOS E DO CARBONO PARA TRÊS ANOS DE SIMULAÇÃO PARA OS CENÁRIOS DE OCUPAÇÃO DA BACIA DO TAQUARIZINHO EM 2026. ....	196
TABELA 31. REGIMES DE VAZÃO RECOMENDADA PELO MÉTODO DE TENNANT. ....	231
TABELA 32. FATORES DA EQUAÇÃO USLE BASEADO EM BACCHI (2007) ADEQUADOS PARA OCUPAÇÃO EM CENÁRIO 1A (PREDOMÍNIO AGRICULTURA). ....	236
TABELA 33. <i>DESCRIÇÃO DAS INFORMAÇÕES DE ENTRADAS, FLUXOS E ESTOQUES PARA CALIBRAÇÃO PARA CENÁRIO 1A, PREDOMÍNIO DE AGRICULTURA.</i> ....	238
TABELA 34. FATORES DA EQUAÇÃO USLE BASEADO EM BACCHI (2007) ADEQUADOS PARA OCUPAÇÃO EM CENÁRIO 2A (PREDOMÍNIO PASTAGENS). ....	240
TABELA 35. <i>DESCRIÇÃO DAS INFORMAÇÕES DE ENTRADAS, FLUXOS E ESTOQUES PARA CALIBRAÇÃO PARA CENÁRIO 2, PREDOMÍNIO DE PASTAGENS.</i> ....	242
TABELA 36. FATORES DA EQUAÇÃO USLE BASEADO EM BACCHI (2007) ADEQUADOS PARA OCUPAÇÃO EM CENÁRIO 3 ( <i>BUSINESS AS USUAL</i> ). ....	244
TABELA 37. <i>DESCRIÇÃO DAS INFORMAÇÕES DE ENTRADAS, FLUXOS E ESTOQUES PARA CALIBRAÇÃO PARA CENÁRIO 3, BUSINESS AS USUAL.</i> ....	246
TABELA 38. FATORES DA EQUAÇÃO USLE BASEADO EM BACCHI (2007) ADEQUADOS PARA OCUPAÇÃO EM CENÁRIO 4 ( <i>AGRICULTURA SUSTENTÁVEL</i> ). ....	248
TABELA 39. <i>DESCRIÇÃO DAS INFORMAÇÕES DE ENTRADAS, FLUXOS E ESTOQUES PARA CALIBRAÇÃO PARA CENÁRIO 4, AGRICULTURA SAF.</i> ....	250
TABELA 40. TABELA PARA CONSTRUÇÃO DO PERFIL DE PRESTAÇÃO DE SERVIÇOS ECOSSISTÊMICOS PARA CADA CENÁRIO. ....	252

## ÍNDICE DE GRÁFICOS

GRÁFICO 1. VALIDAÇÃO DA DESCARGA NO RIO TAQUARIZINHO PARA OS ANOS 1995-1996. .....	27
GRÁFICO 2. VALIDAÇÃO DA DESCARGA ACUMULADA NO CANAL PARA OS ANOS 1995- 1996.....	28
GRÁFICO 3. VALORES SIMULADOS DO NÍVEL DO AQUIFERO SUPERFICIAL PARA OS ANOS 1995-1996. ....	29
GRÁFICO 4. VALORES DIÁRIOS SIMULADOS PARA ÁGUA NO SOLO (LINHA CHEIA) PARA PLUVIOSIDADE DE 1995-1996 E ESTIMADOS PELO BALANÇO HÍDRICO INMET (LINHA PONTILHADA). ....	30
GRÁFICO 5. VALORES SIMULADOS DE ÁGUA NO SOLO (LINHA CHEIA) COM PLUVIOSIDADE 2006-2008 E ESTIMADOS (LINHA PONTILHADA) PELO BALANÇO HÍDRICO CLIMATOLÓGICO (INMET, 2010).....	31
GRÁFICO 6. SIMULAÇÃO DOS FLUXOS DIÁRIOS ( $M^3 D^{-1}$ ) DE <i>RUNOFF</i> (B) E INFILTRAÇÃO DE ÁGUA (C) NO SOLO CONSIDERANDO O FLUXO DE CHUVA (A) DOS ANOS DE 1995- 1996.....	42
GRÁFICO 7. SIMULAÇÃO DOS FLUXOS DIÁRIOS ( $M^3 D^{-1}$ ) DE EVAPOTRANSPIRAÇÃO (A), PERCOLAÇÃO PARA AQUIFERO SUPERFICIAL(B), RECARGA DE AQUIFERO (C) E VAZÃO NO CANAL (D) RELATIVO A JANEIRO 1995 A DEZEMBRO 1996.....	43
GRÁFICO 8. SIMULAÇÃO DOS FLUXOS DE ASCENSÃO CAPILAR ENTRE SOLO E RETENÇÃO SUPERFICIAL (A), TROCA ENTRE CANAIS E AQUIFERO SUPERFICIAL (B), E ASCENSÃO CAPILAR ENTRE AQUIFERO SUPERFICIAL E SOLO (C).....	44
GRÁFICO 9. VALORES SIMULADOS PARA OS ESTOQUES DE (A) ÁGUA DETIDA NA SUPERFÍCIE, (B) NA UMIDADE DO SOLO, (C) NO AQUIFERO SUPERFICIAL, E (D) NOS CANAIS DA BACIA DO TAQUARIZINHO.....	46
GRÁFICO 10. DINÂMICA EMERGÉTICA DO EMPOWER INPUT DIÁRIO NA BACIA DO TAQUARIZINHO DE 1995-1996. ....	50
GRÁFICO 11. DINÂMICA DO VALOR DE EMERGIA POR VOLUME ( $SEJ M^{-3}$ ) PARA EVAPOTRANSPIRAÇÃO, DESCARGA NO CANAL E RECARGA DE AQUIFERO DA BACIA DO TAQUARIZINHO COM A ABORDAGEM CO-PRODUTOS. ....	53
GRÁFICO 12. DINÂMICA DO VALOR DE EMERGIA POR VOLUME ( $SEJ M^{-3}$ ) PARA EVAPOTRANSPIRAÇÃO, DESCARGA NO CANAL E RECARGA DE AQUIFERO DA BACIA DO TAQUARIZINHO COM A ABORDAGEM <i>SPLIT</i> . ....	55
GRÁFICO 13. DINÂMICA DO VALOR DE EMERGIA POR VOLUME ( $SEJ M^{-3}$ ) PARA EVAPOTRANSPIRAÇÃO, DESCARGA NO CANAL E RECARGA DE AQUIFERO DA BACIA DO TAQUARIZINHO COM A ABORDAGEM <i>EQUAL EMERGY</i> . ....	58
GRÁFICO 14. DINÂMICA DIÁRIA DO VALOR DE EMDÓLAR POR VOLUME ( $EM\$ M^{-3}$ ) PARA EVAPOTRANSPIRAÇÃO, DESCARGA NO CANAL E RECARGA DE AQUIFERO DA BACIA DO TAQUARIZINHO 1995-1996, CO-PRODUTOS. ....	61
GRÁFICO 15. DINÂMICA DIÁRIA DO VALOR DE EMDÓLAR POR VOLUME ( $EM\$ M^{-3}$ ) PARA EVAPOTRANSPIRAÇÃO, DESCARGA NO CANAL E RECARGA DE AQUIFERO DA BACIA DO TAQUARIZINHO 1995-1996, <i>SPLIT</i> .....	62
GRÁFICO 16. DINÂMICA DIÁRIA DO VALOR DE EMDÓLAR POR VOLUME ( $EM\$ M^{-3}$ ) PARA EVAPOTRANSPIRAÇÃO, DESCARGA NO CANAL E RECARGA DE AQUIFERO DA BACIA DO TAQUARIZINHO 1995-1996, <i>EQUAL EMERGY</i> .....	62

GRÁFICO 17. VALORES MONETÁRIOS DOS SERVIÇOS DE EVAPOTRANSPIRAÇÃO (A), DESCARGA PELO CANAL (B) E RECARGA DE AQUÍFERO (C) NA BACIA DO TAQUARIZINHO ENTRE OS ANOS DE 1995-1996, PELO MÉTODO <i>SPLIT</i> .....	64
GRÁFICO 18. VALORES MONETÁRIOS DOS SERVIÇOS DE EVAPOTRANSPIRAÇÃO (A), DESCARGA PELO CANAL (B) E RECARGA DE AQUÍFERO (C) NA BACIA DO TAQUARIZINHO ENTRE OS ANOS DE 1995-1996, NO MÉTODO <i>EQUAL EMERGY</i> .....	66
GRÁFICO 19. COMPARAÇÃO ENTRE PRODUÇÃO PRIMÁRIA BRUTA DIÁRIA SIMULADA (LINHA CHEIA) E OBSERVADA (LINHA TRACEJADA) NA BACIA DO TAQUARIZINHO ENTRE OS ANOS 2006-2008.....	92
GRÁFICO 20. REPRESENTAÇÃO DOS VALORES ACUMULADOS DE GPP OBSERVADO (LINHA TRACEJADA) E SIMULADO (LINHA CHEIA) NA BACIA DO TAQUARIZINHO ENTRE OS ANOS 2006-2008.....	93
GRÁFICO 21. COMPARAÇÃO ENTRE EVAPOTRANSPIRAÇÃO DIÁRIA SIMULADA (LINHA CHEIA) E OBSERVADA (LINHA TRACEJADA) NA BACIA DO TAQUARIZINHO ENTRE OS ANOS 2006-2008.....	94
GRÁFICO 22. COMPARAÇÃO ENTRE EVAPOTRANSPIRAÇÃO ACUMULADA SIMULADA (LINHA CHEIA) E OBSERVADA (LINHA TRACEJADA) NA BACIA DO TAQUARIZINHO ENTRE OS ANOS 2006-2008.....	95
GRÁFICO 23. COMPARAÇÃO ENTRE SIMULAÇÃO DE DOIS ANOS PARA CONDIÇÕES PRIMITIVAS E DE 1995-1996 PARA OS FLUXOS DIÁRIOS DE (A) <i>RUNOFF</i> , (B) INFILTRAÇÃO E (C) PERCOLAÇÃO. FLUXOS EM $M^3D^{-1}$ .....	103
GRÁFICO 24. COMPARAÇÃO ENTRE SIMULAÇÃO DE DOIS ANOS PARA CONDIÇÕES PRIMITIVAS E DE 1995-1996 PARA OS FLUXOS DE (A) EVAPOTRANSPIRAÇÃO, (B) DESCARGA PELO CANAL E (C) RECARGA DE AQUÍFERO. FLUXOS EM $M^3D^{-1}$ .....	104
GRÁFICO 25. VALORES DE RECARGA DE AQUÍFERO NO PRIMEIRO MÊS DE SIMULAÇÃO, COMPARAÇÃO ENTRE CENÁRIO PRESERVADO E USO DO SOLO EM 1995-1996.....	106
GRÁFICO 26. DIFERENÇA DIÁRIA DOS VALORES MONETÁRIOS DE RECARGA DE AQUÍFERO NO PRIMEIRO MÊS DE SIMULAÇÃO, COMPARAÇÃO ENTRE USO DO SOLO EM 1995-1996 E CENÁRIO PRESERVADO.....	106
GRÁFICO 27. VALORES DE DESCARGA DIÁRIA PELO CANAL PARA: CENÁRIO PRESERVADO, ANOS 1995-1996, VALORES MÍNIMOS E MÁXIMOS DE TENNANT.....	108
GRÁFICO 28. VALORES MONETÁRIOS DE DESCARGA NO CANAL NO PRIMEIRO MÊS DE SIMULAÇÃO, COMPARAÇÃO ENTRE CENÁRIO PRESERVADO E USO DO SOLO EM 1995-1996.....	109
GRÁFICO 29. DIFERENÇA DIÁRIA DOS VALORES MONETÁRIOS DE DESCARGA PELO CANAL NO PRIMEIRO MÊS DE SIMULAÇÃO, COMPARAÇÃO ENTRE USO DO SOLO EM 1995-1996 E CENÁRIO PRESERVADO.....	109
GRÁFICO 30. VALORES MONETÁRIOS DE EVAPOTRANSPIRAÇÃO NO PRIMEIRO MÊS DE SIMULAÇÃO, COMPARAÇÃO ENTRE CENÁRIO PRESERVADO E USO DO SOLO EM 1995-1996.....	111
GRÁFICO 31. DIFERENÇA DIÁRIA DOS VALORES MONETÁRIOS DE EVAPOTRANSPIRAÇÃO NO PRIMEIRO MÊS DE SIMULAÇÃO, COMPARAÇÃO ENTRE USO DO SOLO EM 1995- 1996 E CENÁRIO PRESERVADO.....	112
GRÁFICO 32. MÓDULO DOS VALORES MONETÁRIOS DE DESCARGA NO CANAL NO PRIMEIRO MÊS DE SIMULAÇÃO, COMPARAÇÃO ENTRE CENÁRIO PRESERVADO E USO DO SOLO EM 1995-1996.....	113
GRÁFICO 33. VALORES OBTIDOS NO PRIMEIRO MÊS DE SIMULAÇÃO PARA PERDA NO SERVIÇO DE REGULAÇÃO DE DESCARGA PELO CANAL, APÓS MUDANÇA DE CENÁRIO PRESERVADO PARA O CENÁRIO 1995/1996.....	114

GRÁFICO 34. VALORES OBTIDOS NO PRIMEIRO MÊS DE SIMULAÇÃO PARA PERDA NO SERVIÇO DE REGULAÇÃO DE RECARGA DE AQUÍFERO, APÓS MUDANÇA DE CENÁRIO PRESERVADO PARA O CENÁRIO 1995/1996. ....	115
GRÁFICO 35. VALORES OBTIDOS NO PRIMEIRO MÊS DE SIMULAÇÃO PARA PERDA NO SERVIÇO DE REGULAÇÃO DE EVAPOTRANSPIRAÇÃO, APÓS MUDANÇA DE CENÁRIO PRESERVADO PARA O CENÁRIO 1995/1996. ....	115
GRÁFICO 36. DINÂMICA DA PRODUÇÃO PRIMÁRIA BRUTA MÉDIA E RESPIRAÇÃO AUTÓTROFA MÉDIA SIMULADAS PARA A BACIA DO TAQUARIZINHO ENTRE OS ANOS 2006 A 2008. ....	117
GRÁFICO 37. DINÂMICA DA PRODUÇÃO PRIMÁRIA LÍQUIDA MÉDIA SIMULADA PARA A BACIA DO TAQUARIZINHO ENTRE OS ANOS 2006 A 2008. ....	118
GRÁFICO 38. SIMULAÇÃO DO ESTOQUE DE CARBONO NA BIOMASSA (AÉREA+SUBERRÂNEA) NA BACIA DO TAQUARIZINHO ENTRE OS ANOS 2006 E 2008. ....	120
GRÁFICO 39. DINÂMICA DO ÍNDICE DE PLUVIOSIDADE (A), ÁREA FOLIAR (B), DOS FLUXOS DE PRODUÇÃO DE LDC (C), LDC INCORPORADO PELO SOLO (D), E LDC DECOMPOSTO PARA A ATMOSFERA (E). FLUXOS EM $\text{KG C D}^{-1}$ . ....	121
GRÁFICO 40. DINÂMICA DO ESTOQUE DE LITEIRA SIMULADO PARA O TAQUARIZINHO ENTRE 2006-2008. ....	122
GRÁFICO 41. DINÂMICA DOS FLUXOS DE (A) PLUVIOSIDADE, (B) OXIDAÇÃO DE METANO, (C) RESPIRAÇÃO DO SOLO, E (D) RUNOFF DE CARBONO. FLUXOS DE CARBONO EM $\text{KG C D}^{-1}$ . ....	123
GRÁFICO 42. DINÂMICA DO VALOR SIMULADO DE CARBONO CONTIDO NO SOLO NA BACIA DO TAQUARIZINHO ENTRE 2006-2008. ....	125
GRÁFICO 43. DINÂMICA SIMULADA PARA TROCA LÍQUIDA DIÁRIA DE CARBONO NA BACIA DO TAQUARIZINHO (2006-2008). ....	125
GRÁFICO 44. VARIAÇÃO DIÁRIA DO ACÚMULO DE CARBONO NA BACIA DO TAQUARIZINHO (USO 2006-2008), AO LONGO DE DOIS ANOS, PARA OS ESTOQUES DE BIOMASSA (A), LITEIRA (B), E SOLO (C). ....	127
GRÁFICO 45. VARIAÇÃO DIÁRIA DA EMERGIA DE EVAPOTRANSPIRAÇÃO PARA O CICLO DO CARBONO NA BACIA DO TAQUARIZINHO EM TRÊS ANOS, PARA OCUPAÇÃO E USO DO SOLO REFERENTE AO PERÍODO 2006-2008. ....	134
GRÁFICO 46. VALORES DE EMERGIA POR MASSA ( $\text{SEJ TC}^{-1}$ ) E EMDÓLARES POR MASSA ( $\text{EM\$ TC}^{-1}$ ) PARA OS FLUXOS DE CARBONO NA BACIA DO TAQUARIZINHO, MAPA DE USO REFERENTE AO PERÍODO 2006-2008. ....	137
GRÁFICO 47. DINÂMICA DO SERVIÇO DE SEQUESTRO DE CARBONO NA BIOMASSA DA BACIA DO TAQUARIZINHO PARA O CENÁRIO PRESERVADO, PARA PLUVIOSIDADE 2006-2008. ....	138
GRÁFICO 48. DINÂMICA DO SERVIÇO DE SEQUESTRO DE CARBONO NA LITEIRA DA BACIA DO TAQUARIZINHO NO PERÍODO DE 2006-2007. ....	139
GRÁFICO 49. DINÂMICA DO SERVIÇO DE SEQUESTRO DE CARBONO NO SOLO DA BACIA DO TAQUARIZINHO NO PERÍODO DE 2006-2008. ....	140
GRÁFICO 50. COMPARAÇÃO ENTRE OS ESTOQUES DE CARBONO NA BIOMASSA VIVA DA BACIA DO TAQUARIZINHO CONSIDERANDO OS CENÁRIOS PRESERVADO E 2006-2008. ....	141
GRÁFICO 51. COMPARAÇÃO ENTRE AS PRODUÇÕES PRIMÁRIAS BRUTAS DA BACIA DO TAQUARIZINHO CONSIDERANDO OS CENÁRIOS PRESERVADO E 2006-2008. ....	142
GRÁFICO 52. COMPARAÇÃO ENTRE AS PRODUÇÕES PRIMÁRIAS LÍQUIDAS DA BACIA DO TAQUARIZINHO CONSIDERANDO OS CENÁRIOS PRESERVADO E 2006-2008. ....	143

GRÁFICO 53. COMPARAÇÃO ENTRE OS ESTOQUES DE LITEIRA E DETRITOS (LDC) DA BACIA DO TAQUARIZINHO CONSIDERANDO OS CENÁRIOS PRESERVADO E 2006-2008. ....	143
GRÁFICO 54. COMPARAÇÃO ENTRE OS ESTOQUES DE LITEIRA E DETRITOS (LDC) DA BACIA DO TAQUARIZINHO CONSIDERANDO OS CENÁRIOS PRESERVADO E 2006-2008. ....	144
GRÁFICO 55. COMPARAÇÃO ENTRE OS FLUXOS DE RUNOFF DE CARBONO DA BACIA DO TAQUARIZINHO CONSIDERANDO OS CENÁRIOS PRESERVADO E 2006-2008.....	145
GRÁFICO 56. COMPARAÇÃO ENTRE AS TROCAS LÍQUIDAS DE CARBONO DA BACIA DO TAQUARIZINHO CONSIDERANDO OS CENÁRIOS PRESERVADO E 2006-2008.....	146
GRÁFICO 57. COMPARAÇÃO ENTRE OS SERVIÇOS DE SEQUESTRO DE CARBONO NA BIOMASSA DA BACIA DO TAQUARIZINHO CONSIDERANDO OS CENÁRIOS PRESERVADO E 2006-2008.....	148
GRÁFICO 58. <i>TRADE OFF</i> ASSOCIADO AO SERVIÇOS DE SEQUESTRO DE CARBONO NA BIOMASSA DA BACIA DO TAQUARIZINHO DEVIDO CONVERSÃO DO CENÁRIO PRESERVADO EM CONDIÇÕES DE 2006-2008.....	149
GRÁFICO 59. COMPARAÇÃO ENTRE OS SERVIÇOS DE SEQUESTRO DE CARBONO NA LITEIRA DA BACIA DO TAQUARIZINHO CONSIDERANDO OS CENÁRIOS PRESERVADO E 2006-2008.....	150
GRÁFICO 60. <i>TRADE OFF</i> ASSOCIADO AO SERVIÇOS DE SEQUESTRO DE CARBONO NA LITEIRA DA BACIA DO TAQUARIZINHO DEVIDO CONVERSÃO DO CENÁRIO PRESERVADO EM CONDIÇÕES DE 2006-2008.....	150
GRÁFICO 61. COMPARAÇÃO ENTRE OS SERVIÇOS DE SEQUESTRO DE CARBONO NO SOLO DA BACIA DO TAQUARIZINHO CONSIDERANDO OS CENÁRIOS PRESERVADO E 2006-2008.....	151
GRÁFICO 62. <i>TRADE OFF</i> ASSOCIADO AO SERVIÇOS DE SEQUESTRO DE CARBONO NO SOLO DA BACIA DO TAQUARIZINHO DEVIDO À CONVERSÃO DO CENÁRIO PRESERVADO EM CONDIÇÕES DE 2006-2008.....	152
GRÁFICO 63. FLUXOS DE EVAPOTRANSPIRAÇÃO SIMULADOS AO LONGO DE TRÊS ANOS, CONSIDERANDO SEIS CENÁRIOS DIFERENTES PARA O ANO DE 2026: PREDOMÍNIO DE SISTEMA AGROFLORESTAL (SAF), PASTAGENS COM MANEJO, CONDIÇÃO BUSINESS AS USUAL, AGRICULTURA COM PLANTIO DIRETO, PASTAGENS SEM MANEJO E AGRICULTURA CONVENCIONAL.....	169
GRÁFICO 64. FLUXOS MONETÁRIOS DE EVAPOTRANSPIRAÇÃO SIMULADOS AO LONGO DE TRÊS ANOS, CONSIDERANDO SEIS CENÁRIOS DIFERENTES PARA O ANO DE 2026: PREDOMÍNIO DE SISTEMA AGROFLORESTAL (SAF), PASTAGENS COM MANEJO, CONDIÇÃO BUSINESS AS USUAL, AGRICULTURA COM PLANTIO DIRETO, PASTAGENS SEM MANEJO E AGRICULTURA CONVENCIONAL.....	171
GRÁFICO 65. FLUXOS DE ÁGUA PELO CANAL PRINCIPAL SIMULADOS AO LONGO DE TRÊS ANOS, CONSIDERANDO SEIS CENÁRIOS DIFERENTES PARA O ANO DE 2026: PREDOMÍNIO DE SISTEMA AGROFLORESTAL (SAF), PASTAGENS COM MANEJO, CONDIÇÃO BUSINESS AS USUAL, AGRICULTURA COM PLANTIO DIRETO, PASTAGENS SEM MANEJO E AGRICULTURA CONVENCIONAL.....	173
GRÁFICO 66. VALORES EM EMDÓLARES (EM\$) DA DESCARGA SIMULADA AO LONGO DE TRÊS ANOS, CONSIDERANDO SEIS CENÁRIOS DIFERENTES PARA O ANO DE 2026: PREDOMÍNIO DE SISTEMA AGROFLORESTAL (SAF), PASTAGENS COM MANEJO, CONDIÇÃO BUSINESS AS USUAL, AGRICULTURA COM PLANTIO DIRETO, PASTAGENS SEM MANEJO E AGRICULTURA CONVENCIONAL.....	175

GRÁFICO 67.FLUXOS DE RECARGA DE ÁGUA SUBTERRÂNEA SIMULADOS AO LONGO DE TRÊS ANOS, CONSIDERANDO SEIS CENÁRIOS DIFERENTES PARA O ANO DE 2026: PREDOMÍNIO DE SISTEMA AGROFLORESTAL (SAF), PASTAGENS COM MANEJO, CONDIÇÃO BUSINESS AS USUAL, AGRICULTURA COM PLANTIO DIRETO, PASTAGENS SEM MANEJO, E AGRICULTURA CONVENCIONAL. ....	177
GRÁFICO 68.VALORES EM DÓLARES (EM\$) DA RECARGA SIMULADA AO LONGO DE TRÊS ANOS, CONSIDERANDO SEIS CENÁRIOS DIFERENTES PARA O ANO DE 2026: PREDOMÍNIO DE SISTEMA AGROFLORESTAL (SAF), PASTAGENS COM MANEJO, CONDIÇÃO BUSINESS AS USUAL, AGRICULTURA COM PLANTIO DIRETO, PASTAGENS SEM MANEJO, E AGRICULTURA CONVENCIONAL. ....	179
GRÁFICO 69.FLUXOS DE SEQUESTRO DE CARBONO SIMULADOS AO LONGO DE TRÊS ANOS, CONSIDERANDO SEIS CENÁRIOS DIFERENTES PARA O ANO DE 2026: PREDOMÍNIO DE SISTEMA AGROFLORESTAL (SAF), PASTAGENS COM MANEJO, CONDIÇÃO BUSINESS AS USUAL, AGRICULTURA COM PLANTIO DIRETO, PASTAGENS SEM MANEJO, E AGRICULTURA CONVENCIONAL. ....	184
GRÁFICO 70. VALORES EM DÓLARES (EM\$) DE SEQUESTRO NA BIOMASSA SIMULADOS AO LONGO DE TRÊS ANOS, CONSIDERANDO SEIS CENÁRIOS DIFERENTES PARA O ANO DE 2026: PREDOMÍNIO DE SISTEMA AGROFLORESTAL (SAF), PASTAGENS COM MANEJO, CONDIÇÃO BUSINESS AS USUAL, AGRICULTURA COM PLANTIO DIRETO, PASTAGENS SEM MANEJO, E AGRICULTURA CONVENCIONAL. ....	186
GRÁFICO 71.VALORES EM DÓLARES (EM\$) DE SEQUESTRO NA LITEIRA SIMULADOS AO LONGO DE TRÊS ANOS, CONSIDERANDO SEIS CENÁRIOS DIFERENTES PARA O ANO DE 2026: PREDOMÍNIO DE SISTEMA AGROFLORESTAL (SAF), PASTAGENS COM MANEJO, CONDIÇÃO BUSINESS AS USUAL, AGRICULTURA COM PLANTIO DIRETO, PASTAGENS SEM MANEJO, E AGRICULTURA CONVENCIONAL. ....	188
GRÁFICO 72. DINÂMICA DO ESTOQUE DE CARBONO NO SOLO SIMULADO AO LONGO DE TRÊS ANOS, CONSIDERANDO SEIS CENÁRIOS DIFERENTES PARA O ANO DE 2026: PREDOMÍNIO DE SISTEMA AGROFLORESTAL (SAF), PASTAGENS COM MANEJO, CONDIÇÃO BUSINESS AS USUAL, AGRICULTURA COM PLANTIO DIRETO, PASTAGENS SEM MANEJO, E AGRICULTURA CONVENCIONAL. ....	190
GRÁFICO 73. VALORES MONETÁRIOS DE SEQUESTRO DE CARBONO NO SOLO SIMULADO AO LONGO DE TRÊS ANOS, CONSIDERANDO SEIS CENÁRIOS DIFERENTES PARA O ANO DE 2026: PREDOMÍNIO DE SISTEMA AGROFLORESTAL (SAF), PASTAGENS COM MANEJO, CONDIÇÃO BUSINESS AS USUAL, AGRICULTURA COM PLANTIO DIRETO, PASTAGENS SEM MANEJO, E AGRICULTURA CONVENCIONAL. ....	191
GRÁFICO 74.VALORES MONETÁRIOS ANUAIS ASSOCIADOS (A) AO GANHO DA CONVERSÃO DE UM HECTARE DE AGRICULTURA CONVENCIONAL E (B) DA PERDA DE UM HECTARE DE CERRADO NA BACIA DO TAQUARIZINHO PARA DAR LUGAR AOS SISTEMAS DE AGROFLORESTAL (SAF), PASTAGENS COM MANEJO, AGRICULTURA COM PLANTIO DIRETO, CONDIÇÃO <i>BUSINESS AS USUAL</i> , PASTAGENS SEM MANEJO, E AGRICULTURA CONVENCIONAL. ....	198
GRÁFICO 75. PERFIL RELATIVO DE GERAÇÃO DE SERVIÇOS ECOSSISTÊMICOS POR CENÁRIO. ....	199



## RESUMO

Os sistemas de produção agrícola ocupam extensas áreas inseridas em bacias hidrográficas as quais, por sua vez, têm sua sustentabilidade afetada pela interferência de tais sistemas em seus ciclos biogeoquímicos. Apesar da importância do suprimento de energia e alimentos para a sociedade, outros bens e serviços são também fundamentais para o seu bem-estar. É o caso da água, que é um fator de produção para a indústria e agricultura, e também essencial para a manutenção dos domicílios e do comércio em áreas urbanas. Neste contexto, o presente trabalho pretende estudar de que maneira sistemas produtores de energia e alimentos afetam aqueles produtores de água na bacia do Taquarizinho. Este estudo construiu um modelo determinístico para simular e realizar a valoração dos fluxos hidrológicos em áreas ocupadas por agricultura, pastagens e mata nativa. O foco da pesquisa foi a comparação, ao longo do tempo, do valor monetário dos fluxos gerados por diferentes tipos de uso da terra ( $\text{USD ha}^{-1}\text{ano}^{-1}$ ) para diferentes cenários de ocupação da bacia: Cerrado, sistema agroflorestal (SAF), agricultura convencional, agricultura de plantio direto, pastagem com manejo e pastagem sem manejo. A metodologia empregada utiliza o conceito de energia para a valoração de serviços ambientais (e de áreas agrícolas), a qual atribui valor aos mesmos em equivalentes de dólar baseando-se na relação entre a energia dos inputs e o fluxo de massa de água para cada uma das entradas geradas pelo mesmo sistema. Além disto, vinculou-se o modelo hidrológico aos principais processos de sequestro e emissão de carbono na bacia, a fim de entender como o ciclo do carbono é afetado pelo ciclo hidrológico e quais os valores monetários relacionados a tais fluxos biogeoquímicos vinculados à captura de carbono na biomassa, na liteira e no solo. Os resultados do modelo denominado hidro-carbono revelam que há uma hierarquia em relação à prestação de serviços hidrológicos e do carbono, a qual é relacionada aos seguintes cenários, de maneira decrescente: Cerrado, sistema agroflorestal, pastagem com manejo, agricultura de plantio direto, pastagem sem manejo e agricultura convencional. Entende-se que os resultados monetários obtidos podem ser úteis para dar suporte aos mecanismos de compensação à proteção de sistemas produtores de água e carbono em bacias hidrográficas.

**Palavras-chave:** Energia, serviços ecossistêmicos, ciclo hidrológico, ciclo do carbono, modelagem, simulação, bacia hidrográfica.



## SUMMARY

Agricultural production systems occupy large areas in river basins whose sustainability is affected by human interference on its biogeochemical cycles. Although food and energy production are important to human well-being, other goods and services are also fundamental to society. Water, for instance, is a production factor for industrial and agricultural sectors, and is also essential to household consumption placed in rural and urban areas. Thus, this research project studied how food and energy production systems affect the ecosystem services of water production and net carbon sequestration in Taquarizinho watershed. In order to do so, a deterministic model was used to simulate hydrological and carbon flows in areas occupied by agricultural activities, pastures and native vegetation. The model compares values of water and carbon-related ecosystem services ( $\text{USD ha}^{-1}\text{yr}^{-1}$ ) over time under different land-use scenarios in Taquarizinho watershed: native savanna, agroforestry, conventional cropping system, no-tillage cropping system, degraded pastures and improved pasture management. The methodology used is in accordance to the emergy concept which makes possible ecosystem services valuation based on the ratio of energy inputs and mass outputs leaving the river basin. In the model, we coupled hydrological and carbon processes in order to understand how carbon cycle is affected by changes in land-use and hydrological processes. Results shown that there is an hierarchy related to water and carbon services provision, which is related to the following scenarios, in descending order: native savanna, agroforestry, improved pasture management, no-tillage cropping system, degraded pasture, and conventional cropping system. The results in this thesis may be useful to support public policy oriented to compensation mechanisms aimed at enhancing water and carbon-related ecosystem services at river basin level.

**Key-words:** emergy, ecosystem services, hydrological cycle, carbon cycle, modeling, simulation, river basin.



## 1. INTRODUÇÃO

A sustentação da vida humana está diretamente associada aos bens e serviços gerados pelos ecossistemas – purificação do ar e da água, recarga de aquíferos, proteção contra enchentes e secas, desintoxicação e decomposição de resíduos, formação de solo, manutenção da biodiversidade, estabilização do clima e outros – que contribuem para o bem-estar humano (MA, 2005). Apesar de sua importância, a maioria dos serviços ecossistêmicos (SE) é raramente quantificada em termos comparáveis aos serviços da economia e do capital manufaturado e, conseqüentemente, os agentes tomadores de decisão geralmente não levam em conta as conseqüências de seus projetos sobre os SE (COSTANZA et al., 1997). Por conseguinte, os SE estão sendo degradados em escala local e global, e estima-se que mais da metade deles tenham sido exauridos nas últimas cinco décadas (MA, 2005).

Neste contexto, as atividades de agricultura e pecuária desempenham um papel estratégico, visto que elas ocupam metade da área terrestre útil do planeta. A problemática em torno de tais atividades está conectada à expansão territorial e intensificação no uso de insumos, ambos afetando a provisão de SE. Usualmente observada em países em desenvolvimento, a ampliação da área cultivada é capaz de mudar as propriedades ambientais do sistema (MATSON et al., 1997) e pode reduzir a sua capacidade de provisão de SE devido a sua simplificação (ALTIERI, 1999). Não obstante, a agricultura moderna pode ser gerenciada sob um conjunto de práticas que pode maximizar a provisão de alimentos e matérias-primas e, simultaneamente, minimizar a geração de outros SE fundamentais para o bem-estar da sociedade (TILMAN et al., 2002). Desta forma, o cenário de benefício econômico gerado por alguns sistemas agrícolas modernos poderia ser questionado em casos onde os *trade-offs*<sup>1</sup> relacionados à perda de SE fossem contabilizados (ORTEGA et al., 2005).

Assumindo que a agricultura moderna apresenta uma conseqüência dual sobre o bem-estar humano – provisão de alimentos e matérias-primas em detrimento de alguns SE –, tornam-se necessários estudos que levem em consideração a valoração econômica destes SE gerados (e perdidos) em áreas naturais e outras ocupadas por culturas agrícolas. Este esforço é justificado porque os impactos *ex-situ* das atividades agrícolas, tanto positivos quanto negativos, são falhas de mercado – denominadas “externalidades”

---

<sup>1</sup> Os *trade-offs* são as conseqüências geradas por uma determinada escolha. No caso da opção pela substituição de um ecossistema para implantação de um sistema agrícola convencional, uma das conseqüências é a maximização do serviço ecossistêmico de produção de alimentos, fibras e energia, em detrimento de outros serviços ecossistêmicos de regulação, de suporte e culturais.

– que se traduzem em custos financeiros externos que deveriam ser internalizados nos preços (PRETTY et al., 2000). Considerando que a maioria dos *stakeholders* (ou partes interessadas) responsáveis pelo gerenciamento de ecossistemas geralmente não tem recursos técnicos ou financeiros para estimar o valor presente dos SE em termos monetários (PRATO, 2007), a quantificação da magnitude econômica dos serviços ecossistêmicos neste estudo gera informações para dar suporte a mecanismos de compensação pelo benefício público associado à proteção dos ecossistemas no contexto rural (WUNDER, ENGEL e PAGIOLA, 2008).

O presente projeto de pesquisa procura dar continuidade ao estudo de Watanabe (2008), que estimou os valores dos SE em áreas agrícolas considerando os processos biogeoquímicos do ciclo da água, carbono e nitrogênio em microbacias do Estado de São Paulo. Na presente tese, a incorporação da modelagem e simulação é um diferencial que permitiu calcular valores de SE variando através do tempo, pois as entradas naturais de energia solar, precipitação e outras que afetam a sua valoração, são sazonais e devem ser levadas em conta. Assim, será possível a geração de gráficos mostrando a variação dos valores dos SE (dados em USD.ha<sup>-1</sup>.ano<sup>-1</sup>) ao longo do tempo em cenários que considerarão os diferentes tipos de uso da terra na Bacia do Alto Paraguai, com destaque para a agricultura, pastagens e mata nativa.

A modelagem e a simulação no presente estudo estão voltadas ao detalhamento dos ciclos da água e do carbono, que envolvem uma série de tipos de fluxos de escoamento na superfície e subsuperfície, recarga de aquífero, evapotranspiração, além do sequestro e emissão de carbono pela vegetação, serapilheira e solo. A disponibilidade de dados na bibliografia e em bases de dados de agências nacionais, como a Agência Nacional de Águas (ANA, 2011), e internacionais, como o Oak Ridge National Laboratory Distributed Active Archive Center (ORNL DAAC, 2010), foram fundamentais para a coleta de dados suficientes para a validação do modelo proposto. Outro refinamento, se comparado ao estudo anterior de Watanabe (2008), se encontra na escala espacial adotada para o procedimento de cálculo emergético: ao invés de se balizar em fluxos de massa e energia em escala global, o presente estudo mostra o valor dos SE tendo como referencial os valores em escala local (bacia hidrográfica), baseando-se no modelo proposto por Tilley e Brown (2006).

A região da Bacia do Alto Paraguai (BAP) foi escolhida como área principal do estudo porque o desenvolvimento e a conservação da BAP dependem do particular comportamento hidrológico desta bacia – onde se insere o Pantanal –, que é marcada

pelas variabilidades espacial e temporal (sazonal e interanual) da precipitação, evapotranspiração e das vazões resultantes. Além disto, na BAP tem existido uma tendência de transformação da vegetação nativa, principalmente do Cerrado, em pastagens implantadas para o gado e em cultivo de soja. Esse desmatamento tem avançado também nas áreas de matas ciliares, com perda de habitats de espécies nativas. Estima-se que o desmatamento seja de cerca de 65% de área florestada no Planalto e 10% no Pantanal (ANA, 2004).

### *1.1 Hipóteses*

A construção de um modelo que revele os impactos da mudança de uso e ocupação do solo no ciclo hidrológico e do carbono torna-se importante para verificar ou não as seguintes hipóteses estabelecidas:

(i) A conversão de áreas de vegetação nativa em tipos diversos sistemas de produção agropecuária acarreta na diminuição da provisão de serviços ecossistêmicos da água e do carbono em uma bacia hidrográfica;

(ii) O modelo determinístico construído para simular os ciclos hidrológicos e do carbono permite representar a dinâmica de fluxos mássicos e o balanço de ambos ciclos biogeoquímicos;

(iii) Os valores monetários dos serviços da água e do carbono gerados pelo modelo, baseados na avaliação emergética, são viáveis para balizar políticas públicas de compensação/punição para conservação/depleção de serviços hidrológicos e de carbono devido a mudança de uso do solo em uma bacia hidrográfica.

## **2. OBJETIVOS**

O presente projeto de pesquisa tem como principais objetivos o aperfeiçoamento do método de cálculo utilizado no estudo de Watanabe (2008) e a inserção da modelagem e simulação dos SE em uma bacia hidrográfica com diferentes usos do solo – agricultura, pastagens e vegetação natural, a princípio – para levar em conta a sazonalidade da geração de fluxos hidrológicos, baseando-se no método proposto por Tilley e Brown (2006). Adicionalmente, dada a importância dos gases de efeito estufa para as mudanças climáticas, pretende-se incorporar ao modelo hidrológico a dinâmica do ciclo do carbono a fim de modelar os fluxos de sequestro e emissão de carbono pela vegetação, pela serapilheira e pelo solo. O modelo também tem como objetivo simular o valor monetário

dos fluxos de carbono na microbacia. Em suma, os objetivos específicos desse trabalho são:

(i) Construir um modelo determinístico para os fluxos de água e carbono da microbacia utilizando a linguagem de símbolos da metodologia emergética para a bacia do rio Taquarizinho, localizada na Bacia do Alto Paraguai;

(ii) Adaptar o método de Tilley e Brown (2006) para o estudo de caso da BAP, recalculando os coeficientes necessários para o ajuste dos fluxos hidrológicos do modelo;

(iii) Incluir, no modelo hidrológico, equações e coeficientes que representem a relação de fluxos hidrológicos com os fluxos de carbono, tais como as entradas e saídas de carbono através dos estoques da vegetação, serapilheira e solo;

(iv) Validar o modelo a partir dos dados de vazão diária do canal ( $m^3.d^{-1}$ ) disponibilizados na Agência Nacional de águas (ANA - *Hidroweb*); no caso dos fluxos de carbono, a validação será a partir de dados de fluxo de carbono por imagens de satélite disponibilizadas pelo Oak Ridge National Laboratory Distributed Active Archive Center (ORNL DAAC, 2010);

(v) Calcular, em escala local, os valores diários de energia por massa e dólares por volume associados a cada um dos fluxos hidrológicos, utilizando as diferentes abordagens da metodologia emergética;

(vi) Desenvolver a abordagem ideal para cálculo dos valores monetários associados aos fluxos de carbono, utilizando a metodologia emergética;

(vii) Construir diferentes cenários de ocupação da terra na microbacia inserida na BAP (I- Predomínio da agricultura, II- Predomínio da pecuária, III- Predomínio da vegetação natural) para avaliar qual deles apresenta maior potencial de geração de SE;

(viii) Comparar os valores gerados pelo modelo com aqueles obtidos em Watanabe (2008) e em outros autores na literatura, a fim de compreender a aplicabilidade dos valores obtidos no presente trabalho em políticas de pagamento por serviços ambientais.

### **3. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA**

#### *3.1 Agricultura e mudança de uso e ocupação do solo*

Até o ano 2050, estima-se que a população humana irá aumentar 50% em relação àquela existente em 2000. Este crescente número de indivíduos, que é de 7 bilhões no ano de 2012, irá duplicar a atual demanda por alimentos e, caso mantido o atual modelo

de produção agrícola convencional<sup>2</sup> e o ritmo de consumo observados em escala global, cerca de 1 bilhão de hectares de ecossistemas naturais serão convertidos em áreas agrícolas nesse período, preferencialmente na América Latina e África Subsaariana Central (TILMAN et al., 2001).

Um dos principais causadores de mudança de uso e ocupação da terra na América do Sul será a expansão da área plantada com soja, esperada para crescer dos 38 milhões de hectares observados em 2003 para cerca de 59 milhões de hectares até 2020. A produção total da Argentina, Brasil, Bolívia e Paraguai corresponderão a mais de 170 milhões de toneladas, equivalente a quase 60% da produção mundial. Como consequência, a conversão de habitats naturais para acomodar esta expansão irá atingir mais de 21 milhões de hectares (Mha), sendo as maiores perdas sobre áreas de Cerrado (9,6 Mha), Chaco seco e úmido que cobre partes da Argentina, Paraguai, Bolívia e Brasil (6,3 Mha), florestas úmidas e Amazônica (3,6Mha), Mata Atlântica (1,3 Mha), floresta Chiquitano (entre a Amazônia e o Chaco, 0,5 Mha) e a floresta Yungas (0,2 Mha) (MAGRIN et al., 2007).

No Brasil, projeta-se que entre 2006 e 2030, haverá um crescimento de 7% em terras alocadas para a produção agrícola e pecuária brasileiras, equivalente a adicionais 16,8 milhões de hectares. Como consequência, espera-se que, entre os anos de 2010 e 2030, as taxas médias de desmatamento na Amazônia, Cerrado e Mata Atlântica sejam mantidas em, respectivamente, 1 milhão, 400 mil e 50 mil hectares ao ano, grandemente impulsionadas pela expansão da agropecuária, além de pressões causadas por outros setores da economia como transportes, geração de energia e o imobiliário (WORLD BANK, 2010).

### *3.2 Impactos da mudança de uso da terra nos serviços ecossistêmicos*

Apesar das projeções futuras em relação à mudança no uso da terra, grande parte do processo de degradação dos ecossistemas já ocorreu durante as últimas cinco décadas. De acordo com a Avaliação Ecológica do Milênio<sup>3</sup>, nesse período, os seres humanos alteraram os ecossistemas mais rapidamente e extensivamente que em

---

<sup>2</sup> A agricultura convencional pode ser entendida como aquela intensiva em capital, de larga escala, altamente mecanizada, como monoculturas e uso extensivo de fertilizantes industriais, herbicidas e pesticidas (BEUS E DUNLAP, 1990).

<sup>3</sup> A Avaliação Ecológica do Milênio (em inglês, Millennium Ecosystem Assessment) foi um programa lançado pelo então secretário das Nações Unidas, Kofi Annan, que contou com a contribuição de centenas de pesquisadores da comunidade científica a fim de fazer um levantamento a respeito das mudanças antrópicas nos ecossistemas e de suas consequências para bem-estar humano ao longo das últimas cinco décadas.

qualquer outro período da história humana, principalmente visando atender às crescentes demandas por alimento, água, matérias-primas e energia. Apesar dos incrementos substanciais ao bem-estar humano e do desenvolvimento econômico observado em muitas nações, tais benefícios tiveram como *trade-offs* principais a degradação dos serviços ecossistêmicos (SE) globais e do aumento da pobreza em outras partes do globo (MA, 2005).

Tabela 1. Condição dos serviços de provisão, regulação e culturais em escala global

Serviço	Sub-categoria	Status	Notas
<b>Provisão</b>			
Alimentos	Cultivos	↑	crescimento substancial na produção
	Rebanhos	↑	crescimento substancial na produção
	Pesca (captura)	↓	produção em queda, sobrepesca
	Aquicultura	↑	crescimento substancial na produção
	Alimentos selvagens	↓	produção em queda
Fibra	Madeira	+/-	perdas e ganhos de florestas
	Algodão, seda, linho	+/-	declínio de uns, aumento de outros
	Combustível (madeira)	↓	produção em queda
Recursos genéticos		↓	extinção e perda genética em cultivos
Compostos naturais		↓	extinção, colheita excessiva
Água potável		↓	uso insustentável pelos setores
<b>Regulação</b>			
Qualidade do ar		↓	taxa de poluição maior que remoção
Climática	Global	↓	emissão líquida desde 50 anos atrás
	Regional	↓	prevalecem impactos negativos
Hídrica		+/-	mais ou menos, conforme localidade
Erosão		↓	aumento da degradação do solo
Pragas		↓	perda de controle natural, pesticidas
Polinização		↓	declínio dos agentes polinizadores
Danos naturais		↓	perda de mangues, wetlands
<b>Culturais</b>			
Valor espiritual		↓	perda de bosques/espécies sagrados
Valor estético		↓	perda de áreas naturais
Recreação		+/-	mais acesso porém mais degradação

Fonte: MA (2005)

A Tabela 1 mostra a condição atual dos serviços de provisão, regulação e culturais em escala global, segundo a Avaliação Ecológica do Milênio. Estima-se que 60% dos serviços ecossistêmicos estudados já tenham sido degradados ou estejam sendo explorados de maneira insustentável. Dentro desta lista desagradável, tem-se registrado os SE de provisão de água potável, de recursos pesqueiros, de purificação do ar e da água, além da regulação do clima, das pragas naturais e das doenças em escala global. Tais reduções na geração de SE impactam a sociedade de diversas maneiras, prejudicando os aspectos econômicos, sociais, tecnológicos, culturais, e espirituais que compõem a percepção de bem-estar humano (MA, 2005).

Dentro de tal contexto, as atividades agropecuárias desempenham um papel de protagonismo, visto que ocupam metade da área terrestre útil do planeta, antes ocupada por ecossistemas naturais. Como já dito, a ampliação dessa área cultivada é capaz de mudar as propriedades ambientais do sistema (MATSON et al., 1997) e pode reduzir a sua capacidade de provisão de SE devido a sua simplificação (ALTIERI, 1999). Apesar de a agricultura convencional maximizar a provisão de alimentos, fibras e matérias-primas, ela pode ser ainda capaz de prestar desserviços ambientais tais como perda de biodiversidade, *runoff* (escoamento superficial) de nutrientes, assoreamento de cursos hídricos, emissão de gases de efeito estufa, contaminação de aquíferos, entre outros problemas, dependendo das práticas agrícolas utilizadas (POWER, 2010).

A simplificação e a redução na provisão de SE por parte da agricultura ficou clara em estudo elaborado por Costanza et al. (1997), que obteve valores médios para todos os tipos de cobertura vegetal na Biosfera, utilizando abordagens da Economia Ecológica<sup>4</sup>. Enquanto as florestas tropicais proporcionavam um somatório de serviços equivalente a quase USD 2000 ha<sup>-1</sup>ano<sup>-1</sup> devido a prestação de 14 tipos de SE diferentes, as áreas cultivadas somavam pouco mais de USD 90 ha<sup>-1</sup>ano<sup>-1</sup> associados a três SE: produção de alimentos, polinização e controle biológico. Grosso modo, pode-se inferir que a substituição de floresta tropical por área agrícola convencional implicaria na eliminação ou degradação de ao menos 11 serviços ecossistêmicos, que seriam: regulação climática, regulação de distúrbios, provisão de água, controle de erosão, formação de solo, ciclagem

---

<sup>4</sup> Dentre as abordagens utilizadas no estudo de Costanza et al. (1997) está o método de valoração contingente (MVC). Através de questionários baseados em cenários hipotéticos, os indivíduos revelam sua disposição a pagar (DAP) caso a quantidade ou qualidade de um recurso ambiental seja alterada. Um exemplo de aplicação ocorre na valoração da biodiversidade ou da paisagem, no qual os consumidores atribuem valores aos recursos ambientais como se fossem mercadorias que eles desejam comprar.

de nutrientes, tratamento de resíduos, recreação, valores culturais e estoque de informação genética baseado na lista elaborada por Costanza et al. (1997).

Em estudo realizado em escala local, Martínez et al. (2009) compararam os valores dos SE prestados por floresta de coníferas e áreas cultivadas com café no México, e observaram valores de USD 728 e 162 ha<sup>-1</sup>ano<sup>-1</sup>, respectivamente. Segundo os autores, a mudança de uso da terra que é marcada por eliminação da vegetação nativa para inserção de sistemas agrícolas provocou redução nos SE devido à redução da diversidade e da riqueza de espécies, além de alterar a quantidade e a qualidade da água da bacia hidrográfica.

De fato, Gordon, Finlayson e Falkenmark (2010) afirmam que enquanto a agricultura aumenta os chamados serviços de “provisão” tais como produção de alimento, fibra e energia, ela também é capaz de impactar substancialmente outros SE de regulação. No caso dos serviços hidrológicos, a agricultura pode interferir negativamente em sua abundância e qualidade. Fatores como a eliminação em grande escala da vegetação nativa, a superexploração de água para irrigação e a sua contaminação por fertilizantes e defensivos agrícolas irão agravar a situação de escassez da água, o que poderá acelerar processos de mudança de cobertura do solo pelo esgotamento de água local. Segundo Rockstrom et al. (1999), mais de 5% do fluxo de evapotranspiração – também chamado de fluxo de “água verde” – de florestas tropicais e savanas no mundo serão perdidos devido a sua conversão em áreas de produção de alimentos até 2025. Isto ocorre porque tem sido observado que a fragmentação e a eliminação das florestas em grande escala pode reduzir o fluxo de vapor para atmosfera, com impactos na precipitação (SAVENIJE, 1995), sendo capaz de alterar o clima local e regional (GORDON, FINLAYSON E FALKENMARK, 2010).

Watanabe e Ortega (2011) sugerem que a simplificação do ecossistema, tal como a substituição do mesmo por área de agricultura convencional, é capaz de alterar a provisão de serviços ecossistêmicos devido à alteração no padrão de seus ciclos de materiais. Tal concepção considera que, dependendo do nível de alteração no meio ambiente causada pela intervenção humana, as entradas e saídas de materiais não estarão mais em equilíbrio, provocando, assim, desserviços ecossistêmicos. Um exemplo é o serviço de formação de solo, que depende da regulação dos fluxos de fixação de CO<sub>2</sub> pela vegetação que formará a serapilheira, de percolação de água que proverá a umidade ao solo, e da fixação biológica de nitrogênio e da entrada de outros nutrientes existentes em sua composição. Caso haja eliminação do ecossistema e mudança de cobertura

vegetal, e dependendo do manejo e das práticas adotadas, rapidamente o sistema pode se tornar um emissor líquido de CO<sub>2</sub> devido à ausência de vegetação nativa, além do aumento do *runoff* e da diminuição da infiltração, promovendo assim a perda de nutrientes e a lixiviação. Esse desequilíbrio de fluxos biogeoquímicos pode ser traduzido como sendo um desserviço ecossistêmico, que é percebido como erosão do solo ou como a perda do serviço de formação de solo.

### *3.3 Valoração emergética de serviços ecossistêmicos*

De acordo com Odum e Odum (2000), a valoração dos bens e serviços da natureza deve ser baseada na análise emergética, pois as abordagens da economia neoclássica não são capazes de capturar as reais contribuições dos ecossistemas e podem prejudicar a organização de um padrão sustentável do meio ambiente e da sociedade. Além disso, as abordagens convencionais relacionadas à economia ambiental, tais como o método de valoração contingente (MVC), geralmente capturam o valor das entidades ecossistêmicas de maneira antropocêntrica, enquanto a emergia captura seu valor sob uma ótica mais ecocêntrica (HAU e BAKSHI, 2004).

O termo “emergia” (ou *emergy*, no inglês) foi proposto em 1983, porém, mencionado pela primeira vez na literatura em 1987 (ODUM et al., 1987) a fim de indicar a memória de energia, eliminando a confusão com outros conceitos como “energia incorporada” (*embodied energy*, no inglês). Usando princípios da termodinâmica, Teoria Geral de Sistemas, Ecologia e outras ciências, a análise emergética é capaz de medir fluxos de massa e energia em uma base comum, geralmente em joules equivalentes de energia solar, abreviado como “sej” (ODUM e ODUM, 2000). Hau e Bakshi (2004) afirmam que a análise emergética supera a falta de habilidade do dinheiro em atribuir valores aos insumos que não apresentam preços de mercado, através de uma percepção ecocêntrica que utiliza do rigor dos métodos termodinâmicos.

Como destacaram Watanabe e Ortega (2011), uma abordagem baseada no conceito de emergia pode ser utilizada para atribuir valor aos serviços ecossistêmicos, pois ela corresponde ao valor intrínseco contido nos fluxos de massa e energia que são usados direta e indiretamente pelo meio ambiente para produzir bens e serviços tais como solo, biomassa, precipitação, vento ou processos biogeoquímicos. Segundo os autores, o elo de ligação entre a análise emergética e valoração monetária é o fator Emdólar (EM\$), que possibilita a conversão de Joules equivalentes de energia solar em dinheiro. De acordo com Odum (1996), se um fluxo de emergia é responsável por uma porção real da

riqueza de um sistema econômico, podemos inferir que esta proporção do poder de compra desse sistema se deve a esse fluxo de energia. Os Emdólares seriam, de acordo com a mesma publicação, as medidas apropriadas para discutir questões de grande escala de uma economia, incluindo o meio ambiente e a informação, bem como bens e serviços humanos. Como será mostrada na etapa de resultados do trabalho, tal relação é obtida levando-se em conta o fluxo total de energia (sej) de determinado ano necessário para formar o Produto Nacional Bruto (PNB) do país, que é mensurado em dólares americanos (USD).

A contabilidade com base energética de serviços ecossistêmicos começa com a publicação de Gosselink et al. (1974), no qual foi avaliado o valor de um ecossistema de marismas sob efeito de marés (em inglês, "*Tidal Marsh*"). Baseando-se nos valores dos fluxos de energia e da produção bruta local, foi possível criar uma base de valoração para os bens e serviços sem valor de mercado providos por estes estuários. O valor estimado para os marismas situados na Georgia e Lousiana foram de mais de USD 200.000 por hectare. Este estudo foi chave em monetizar a importância do ecossistema no contexto local e incentivar a melhoria da legislação de proteção destes sistemas naturais no início de 1970.

Odum e Arding (1991, apud. BUENFIL, 2001) foram responsáveis por um trabalho de avaliação energética do valor dos serviços ecossistêmicos em escala regional de uma floresta em mangue localizada no Equador. O valor associado aos serviços ecossistêmicos da região foi estimado em EM\$ 1490 ha<sup>-1</sup>ano<sup>-1</sup>, devido à maricultura como atividade econômica principal. Nesta ocasião, cada metro cúbico da produção primária líquida do mangue equivalia a EM\$ 215.

Outros importantes trabalhos voltados para a valoração de serviços ecossistêmicos em áreas naturais referem-se à valoração de sistemas florestais, aquáticos e de áreas alagadas em países da América do Sul, América Central e da Europa, que foram compilados por Tilley (2006). Os valores para ecossistemas terrestres mostram uma faixa que varia de EM\$ 450 a 6490 ha<sup>-1</sup>ano<sup>-1</sup> para savana árida na Venezuela e para floresta em área de wetlands da Flórida, respectivamente.

Em relação à valoração discriminada por serviço, foram realizados inúmeros trabalhos para quantificar o valor de Emdólares associados aos fluxos hidrológicos, de produção de biomassa e de formação de solo. Como compilado por Bardi e Brown (apud TILLEY, 2006), estudos anteriores utilizando a metodologia energética mostram valores dos fluxos hidrológicos de água no canal (EM\$ 0,16 m<sup>-3</sup>), de descarga superficial em

wetlands (EM\$ 0,54 m<sup>-3</sup>) e de recarga de água subterrânea (EM\$ 0,13 m<sup>-3</sup>). No caso de fluxos relacionados ao carbono, trabalhos mostram valor de produção primária líquida em floresta temperada (EM\$ 69 m<sup>-3</sup> de biomassa), em savana (EM\$ 150 m<sup>-3</sup> de biomassa) e em mangues (EM\$ 215 m<sup>-3</sup> de biomassa). No caso da formação de solo, estima-se que o valor esteja ao redor de EM\$ 5.600 por m<sup>3</sup> de solo gerado.

No caso da valoração emergética por fluxo biogeoquímico, já foram realizadas as contabilidades dos fluxos do ciclo hidrológico, do carbono e do nitrogênio em escala global (BUENFIL, 2001; WATANABE e ORTEGA, 2011). Tais autores consideraram os fluxos biogeoquímicos como sendo co-produtos da entrada total de energia na Biosfera (15,2 E<sup>24</sup> sej), que corresponde à soma das entradas por energia solar absorvida pela Terra (3,6 E<sup>24</sup> sej), das fontes de calor da crosta terrestre (3,3 E<sup>24</sup> sej) e da energia das marés (8,3 E<sup>24</sup> sej) calculadas por Brown e Ulgiati (2010). Em escala global, foram calculados, dentre 14 serviços, o valor médio da precipitação (EM\$ 0,13 m<sup>-3</sup>), fixação de CO<sub>2</sub> (EM\$ 110 tC<sup>-1</sup>) e de fixação biológica de nitrogênio (EM\$ 70 kgN<sup>-1</sup>) por ecossistemas terrestres.

#### *3.4 Modelagem e simulação de ecossistemas*

No presente trabalho, os valores emergéticos dos fluxos biogeoquímicos da água e do carbono serão mensurados em escala local e não em escala global, com o propósito de obter dados mais refinados para aplicação em políticas públicas que levem em conta as peculiaridades do ambiente estudado. Para tanto, torna-se imprescindível compreender o funcionamento do mesmo por meio de um modelo conceitual que represente a dinâmica interna de fluxos biogeoquímicos do sistema a ser estudado, a fim de simular o comportamento de seus fluxos e estoques após determinada intervenção humana no sistema.

Jørgensen (1988) afirma que os modelos são uma representação simplificada da realidade que nunca reproduzirão todas as características de um sistema real, mas que podem ser utilizados para resolver determinados problemas. Segundo o autor, os modelos podem ser usados como ferramentas para gerenciar e pesquisar cientificamente determinado aspecto de um sistema, com o propósito de aumentar o entendimento sobre o mesmo. No caso de modelos ecológicos, o autor aponta como principais vantagens da modelagem a possibilidade de lidar com sistemas complexos, relacionada à interação entre diversas variáveis. Além disso, o exercício de modelar revela as propriedades do sistema e mostra as fragilidades do atual conhecimento humano sobre o mesmo,

podendo indicar novas prioridades para pesquisas futuras. Um modelo ecológico consiste em quatro componentes, segundo Jørgensen (1988):

a) *Funções forçantes ou variáveis externas*: dizem respeito às funções ou variáveis de natureza exterior que influencia o estado do ecossistema. Exemplos de funções forçantes são a temperatura, radiação solar, precipitação, etc.

b) *Variáveis de estado*: são entidades cruciais para a estrutura do modelo que descrevem o estado do ecossistema. Geralmente referem-se a estoques físicos, tais como água no solo, biomassa vegetal, população de organismos, concentração de nutriente em determinado compartimento, etc.

c) *Processos biológicos, químicos e físicos*: são representados no modelo de ecossistema por equações matemáticas, que descrevem relações entre as funções forçantes (ou funções direcionadoras) e as variáveis de estado. São exemplos os processos de transporte de massa para água, ar e solo, além dos biológicos, tais como produção de biomassa, decomposição, etc.

d) *Coefficientes ou parâmetros*: são entidades de valor constante no sistema, derivadas das relações matemáticas obtidas entre processos, variáveis de estado e funções forçantes. Os valores ótimos dos parâmetros são obtidos na etapa de cálculo numérico e iteração, possível com o advento dos computadores.

#### **4. MATERIAL E MÉTODOS**

A base teórica da metodologia está apoiada no conceito de “emergia”, que é utilizada como uma ferramenta da contabilidade ambiental que pode comparar o esforço do meio ambiente com o da economia humana em uma base comum, que pode ser o joule equivalente de energia solar (sej) ou os equivalentes em dólar (Emdólares). Ou seja, a contabilidade emergética é uma abordagem biofísica para estimar a contribuição da natureza para a atividade econômica, em contraposição a outros métodos que se baseiam na percepção humana sobre a contribuição da natureza para o bem-estar (TILLEY e BROWN, 2006).

A primeira fase da modelagem está ligada à construção e validação de um modelo hidrológico cujos estoques e fluxos sejam dependentes do uso do solo (mata nativa, pastagens e agricultura). Após a validação do modelo hidrológico, foi construído um modelo mais complexo que promoveu a interação dos principais estoques e fluxos hidrológicos com aqueles pertencentes ao ciclo do carbono, que denominaremos “modelo hidro-carbono”. Esta etapa representa um avanço considerável em termos de modelagem

e simulação na metodologia emergética, pois visa conectar as interações do ciclo carbono ao modelo do ciclo da água, permitindo estimar inclusive o fluxo líquido de carbono no ecossistema (NCE) em base diária.

A calibração e a validação dos modelos hidrológico e “hidro-carbono” são etapas que dependem da disponibilidade de dados sobre a região estudada. Os mapas descrevendo o tipo e uso do solo, geo-referenciamento para obtenção dos fatores que determinam a Universal Soil Loss Equation (USLE), foram obtidos por meio dos trabalhos de Paranhos-Filho (2000), Bacchi (2007) e Embrapa (2011). Os dados hidrológicos de precipitação na bacia e vazão no canal principal foram obtidos no site da Agência Nacional de Águas (ANA, 2010), e as informações de balanço hídrico no solo pelo Instituto Nacional de Meteorologia (Inmet, 2010). Já os valores diários de evapotranspiração, assimilação de carbono na fotossíntese (GPP) e produção primária líquida (NPP), foram obtidos no site do Oak Ridge National Laboratory Distributed Active Archive Center (ORNL DAAC, 2010), que permitiram calibrar e validar o modelo em relação aos estoques e fluxos de água e carbono.

#### *4.1 Área de estudo*

A bacia hidrográfica escolhida foi a bacia do rio Taquarizinho, sub-bacia da Bacia do Taquari, localizada ao sul de Coxim-MS, entre os municípios de São Gabriel do Oeste-MS e Rio Verde de Mato Grosso-MS, entre as latitudes 18° e 20° Sul e longitudes 54° e 55°30' Oeste. O clima predominante é o quente úmido caracterizado com um período de três meses de seca. A precipitação média na bacia é cerca de 1.300 mm anuais, havendo considerável estiagem nos meses de junho a agosto. O clima da região encontra-se entre as faixas de sub-úmido/seco a úmido (OLIVEIRA, 2007). A área que será o objeto de modelagem se refere aos 498 km<sup>2</sup> localizados na porção sul da bacia do Taquarizinho (ver Figura 1) que é monitorada por duas estações da ANA (Agência Nacional de Águas) denominadas “Próximo a Rio Verde”, sendo uma estação pluviométrica (código 1854002) e outra fluviométrica localizada na seção rio Taquarizinho (código 66865000). Além disto, trata-se de uma bacia que apresenta um volume de informação suficiente para a calibração e validação por ter sido estudada em pesquisas anteriores a respeito de sua dinâmica multitemporal de uso e ocupação dos solos (PARANHOS FILHO, 2000; EMBRAPA, 2011), qualidade da água de drenagem pluvial e curva-chave do rio (OLIVEIRA, 2007), modelagem utilizando Soil and Water Assessment Tool (BARSANTI et al., 2003), transporte de sedimentos e perda de solo (FLORES, 2007),

georeferenciamento para aplicação na Universal Soil Loss Equation (BACCHI, 2007) e batimetria dos canais principais (IDE e RIBEIRO, 2009).

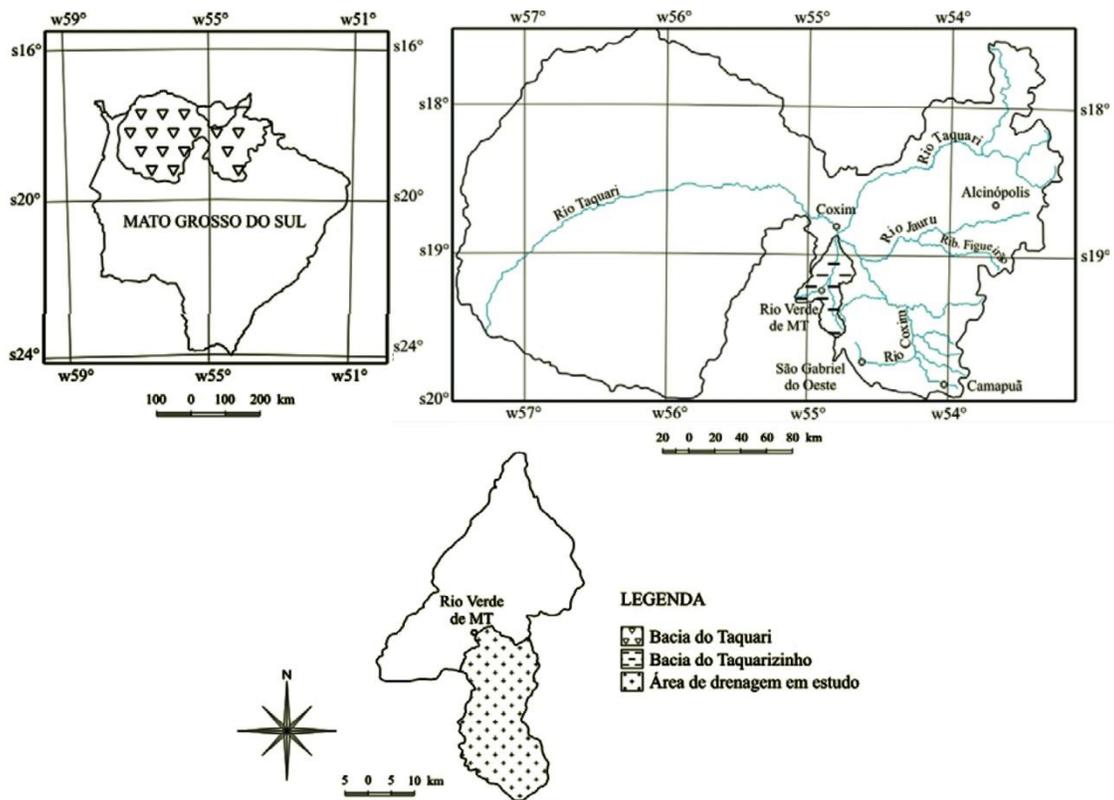


Figura 1. Representação da bacia do Taquarizinho (fonte: OLIVEIRA, 2007).

A bacia do Taquarizinho é também de interesse para modelagem por ter sido marcada pela mudança de uso da terra, com uma gradativa substituição de suas áreas de mata nativa (principalmente Cerrado *sensu strictu*), por pastagens e cultivos agrícolas a partir do fim da década de 60 e início dos anos 70 (PARANHOS FILHO, 2000), causando um aumento na produção de sedimentos e erosão do solo. Ainda mais, a área de estudo pertence à bacia do rio Taquari (Alto Taquari) é uma das mais estudadas na região do Pantanal devido ao impacto das atividades agropecuárias que ocorrem no planalto, mas afetando as regiões de planície. Nessa região, a perda de solo, o transporte de sedimentos e o surgimento de voçorocas causam problemas que representam impactos ambientais capazes de afetar a economia agropecuária e diminuem a produtividade de áreas anteriormente produtivas devido às alterações no meio ambiente (MATO GROSSO DO SUL, 2004; apud. OLIVEIRA, 2007).

#### 4.2. Construção do modelo hidrológico para a bacia hidrográfica

O modelo determinístico foi embasado na metodologia de Odum (1996), que primeiramente interpreta o sistema sob estudo e o reproduz em um retrato que utiliza a linguagem de símbolos da avaliação emergética. Esta etapa de construção do chamado “diagrama sistêmico” é de extrema importância, pois por meio dele serão embasadas as relações matemáticas necessárias para modelar os estoques e fluxos do modelo. A Figura 2 mostra a estrutura de modelo hidrológico para a bacia do Taquarizinho, que foi escolhida neste estudo devido à maior disponibilidade de dados para calibração e validação do modelo. O quadrado externo representa os limites físicos da bacia, os círculos são as variáveis externas à bacia, as setas representam tanto as conexões entre os fluxos quanto as interações entre os estoques inerentes ao sistema. O modelo foi construído em linguagem compatível com MS Excel®, baseado primariamente em modelagem de Tilley e Brown (2006). No entanto, visando modelar o impacto da mudança de uso da terra nas componentes do ciclo hidrológico, o presente estudo incorporou ao modelo funções forçantes de área de mata nativa (AN), área de pasto (AP), área de agricultura (AA), temperatura média da superfície (T), fator de perda de solo “A” segundo a Universal Soil Loss Equation (USLE) para a bacia. A área de drenagem da bacia (AU) foi subdividida em área de mata nativa, área de pastagens, e de agricultura porque diferentes proporções entre AN, AP e AA irão modificar a magnitude dos fluxos hidrológicos, principalmente devido à alteração do coeficiente de escoamento superficial, que faz parte de um balanço hídrico capaz de alterar indiretamente todos os demais fluxos pertencentes ao balanço.

Além disso, o modelo tem a energia solar (S), a precipitação (R), a entrada de água por escoamento de base (CF+GW), a temperatura (T), o índice de área foliar (LAI) e o fator de perda de solo da USLE (A) como funções forçantes. A variável temperatura (T, dada em °C) foi incluída no modelo devido a sua influência nos processos de respiração da vegetação e decomposição da biomassa da bacia através da alteração no metabolismo vegetal e dos micro-organismos (CHAVES, 1992; LAPOLA, 2007; TANNUS, 2004). O índice de área foliar (LAI, *Leaf area index*), um adimensional que representa a relação entre área foliar do dossel de uma população de plantas e a área de solo por ela ocupada (SANCHES et al. 2008), é uma variável com grande correlação com os processos de troca de energia e massa entre o sistema solo-planta-atmosfera, de importância para vários modelos de produção primária através de escalas e modelos globais de clima, hidrologia, biogeoquímica e ecologia (WANG et al., 2005).

As variáveis de estado do modelo hidrológico são a biomassa terrestre (BU), umidade do solo (USM), estoque superficial de água (SD), água dos canais (CW) e aquífero superficial (SA). O sistema a ser considerado é um volume definido entre a divisa da bacia hidrográfica, a base do lençol freático e o plano paralelo à linha de cobertura vegetal (TILLEY E BROWN, 2006).

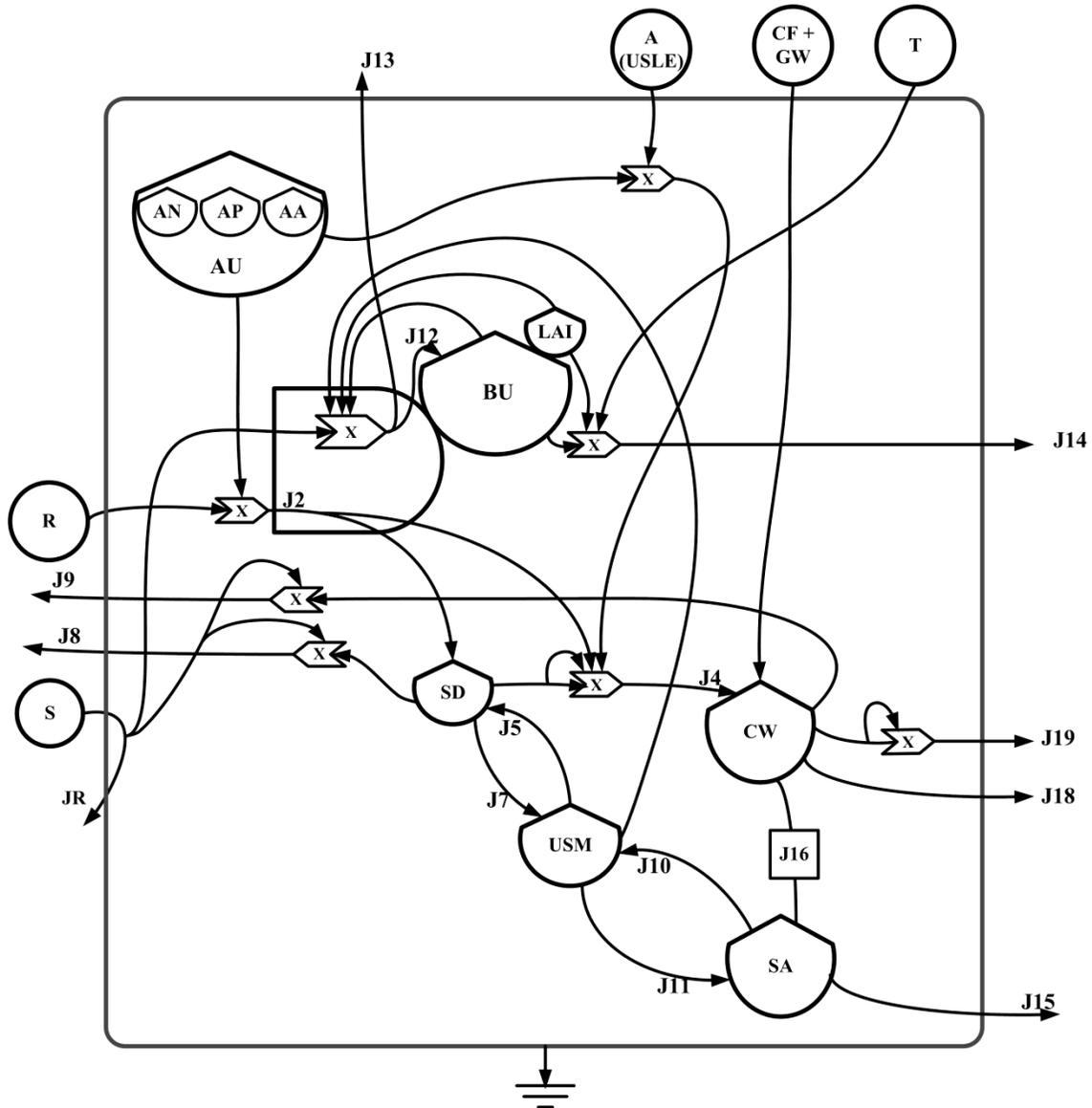


Figura 2. Representação de modelo hidrológico para a bacia do Taquarizinho. R= Chuva, S= Energia Solar, JR= Albedo, CF+GW = entrada pelo canal + entrada de água subterrânea = escoamento de base, A= fator de perda de solo (USLE), T= temperatura média superficial diurna. Estoques: AU=área total, AN=área de mata nativa, AP= área de pastagens, AA= área de agricultura, BU= Biomassa terrestre, LAI= índice de área foliar, CW= canal interno de água, SD= água retida superficialmente, USM= água no solo, SA= aquífero superficial. Fonte: Adaptado de Tilley e Brown (2006). Os significados dos símbolos estão descritos no Anexo I.

Como representado na Figura 2, os processos hidrológicos do modelo construído para a bacia do Taquarizinho são:

- J2: Precipitação ( $\text{m}^3 \cdot \text{d}^{-1}$ );
- J4: Escoamento Superficial ( $\text{m}^3 \cdot \text{d}^{-1}$ );
- J5: Ação da capilaridade vertical ( $\text{m}^3 \cdot \text{d}^{-1}$ );
- J7: Infiltração ( $\text{m}^3 \cdot \text{d}^{-1}$ );
- J8: Evaporação na superfície ( $\text{m}^3 \cdot \text{d}^{-1}$ );
- J9: Evaporação nos canais ( $\text{m}^3 \cdot \text{d}^{-1}$ );
- J10: Ação da capilaridade no solo ( $\text{m}^3 \cdot \text{d}^{-1}$ );
- J11: Percolação ( $\text{m}^3 \cdot \text{d}^{-1}$ );
- J12: Produção de biomassa ( $\text{kg biomassa total} \cdot \text{d}^{-1}$ );
- J13: Transpiração da biomassa ( $\text{m}^3 \cdot \text{d}^{-1}$ );
- J14: Perda de biomassa ( $\text{kg biomassa} \cdot \text{d}^{-1}$ );
- J15: Descarga para aquífero ( $\text{m}^3 \cdot \text{d}^{-1}$ );
- J16: Fluxo bilateral entre aquífero superficial e canal ( $\text{m}^3 \cdot \text{d}^{-1}$ ),
- J18: Descarga linear do canal ( $\text{m}^3 \cdot \text{d}^{-1}$ ),
- J19: Descarga quadrática do canal ( $\text{m}^3 \cdot \text{d}^{-1}$ );

Observando o diagrama da bacia do Taquarizinho (Figura 2), é possível visualizar as relações existentes entre os estoques e fluxos do modelo. Basicamente, o volume de chuva (J2) é imediatamente direcionado ao estoque superficial de água (SD), que é a interface entre o estoque de água existente no solo (USM) e a atmosfera. O estoque SD também recebe água por ascensão capilar a partir da zona de umidade do solo (J5). No entanto, a água que é detida superficialmente em SD é rapidamente perdida através dos fluxos de evaporação (J8), infiltração (J7), ou escoamento superficial (J4).

A modelagem do escoamento superficial (J4) é a principal evolução no modelo hidrológico, pois este fluxo será multiplicado por um coeficiente de correção que depende do uso do solo e da topografia da bacia, inerentes ao fator de perda de solo “A” observado na Universal Soil Loss Equation (USLE), cuja descrição detalhada ocorrerá na seção 4.6. O fluxo J4 é direcionado ao canal (CW), que além de receber água do fluxo J4, recebe uma entrada de água do aquífero superficial (J16). Esse último pode ser um fluxo bilateral, ou seja, flui tanto da umidade do solo (USM) para o aquífero superficial quanto no sentido inverso. A descarga superficial do canal (para fora do sistema) é a soma de um fluxo superficial linear (J18) e outro quadrático (J19, que acelera a descarga do canal em

eventos de precipitação elevada) vindo do estoque no canal de água, os quais dependerão da intensidade da precipitação (J2).

O fluxo de entrada de água subterrânea (GW) está acoplado a entrada de água pelo canal (CF), pois ambos compõem o fluxo de base, ou seja, alimentam os canais da bacia (CW) em épocas de seca, através da entrada de água subterrânea pelas nascentes. Existe também uma entrada/saída de água para SA que vem do fluxo bilateral J16, representando a troca de água entre estes dois compartimentos dependendo do volume de cada um deles. E, finalmente, o fluxo subterrâneo (J15) é a saída de água do aquífero superficial para aquíferos mais profundos ou como fluxo subsuperficial para bacias no entorno.

Em relação à cobertura vegetal, a produção aérea bruta de biomassa (J12) é determinada pelo fluxo de luz solar, umidade do solo (USM) e estoque de biomassa aérea (BU). Este último estoque é alimentado pela água da precipitação contida na USM e, por outro lado, é drenado pelo fluxo de água devido à transpiração da biomassa vegetal (J13). A biomassa que é perdida no sistema se deve ao seu decaimento (J14), que é o resultado da soma dos fluxos de respiração autótrofa e produção de serapilheira pela vegetação na bacia. É importante salientar que os fluxos de produção e perda de biomassa (J12 e J14, respectivamente) são os fluxos que farão a conexão entre o modelo hidrológico com o do ciclo de carbono. Como dito anteriormente, o fluxo J14 não possui um coeficiente  $k_{14}$ , pois se trata da soma entre os fluxos J21 (respiração autótrofa) e J22 (produção de serapilheira), cujas equações e cálculo foram detalhados na seção 4.11, que descreve o modelo hidro-carbono.

#### *4.3 Equações do modelo hidrológico da bacia do Taquarizinho*

As equações que descrevem a relação entre os fluxos hidrológicos deste modelo e os seus estoques (AU, BU, USM, SD, CW e SA) são dadas a partir de operações multiplicativas envolvendo uma série de coeficientes<sup>5</sup> (k), a serem definidos no processo de calibração a partir dos valores dos estoques observados na microbacia estudada. Para tanto, torna-se necessário definir as equações relativas a cada fluxo presente no modelo dinâmico, parcialmente baseadas em Tilley e Brown (2006):

$$\begin{array}{l} \blacksquare J2 = k_2 \cdot R \cdot AU \end{array} \quad (1)$$

$$\begin{array}{l} \blacksquare J4 = k_4 \cdot SD^2 \end{array} \quad (2)$$

---

<sup>5</sup> Cada coeficiente de ajuste de fluxo “k” leva o índice do fluxo relacionado. Por exemplo, para o fluxo de escoamento superficial J4, o coeficiente de ajuste será o  $k_4$ , e assim sucessivamente.

- $J5 = k_5 * (USM-SD)$  (3)
- $J7 = k_7 * SD$  (4)
- $J8 = k_8 * SD * JR$  (5)
- $J9 = k_9 * CW * JR$  (6)
- $J10 = k_{10} * (SA-USM)$  (7)
- $J11 = k_{11} * USM$  (8)
- $J12 = k_{12} * USM * BU * LAI * JR$  (9)
- $J13 = k_{13} * USM * BU * JR$  (10)
- $J14 = (J21 + J22) * 2$  (11)
- $J15 = k_{15} * SA$  (12)
- $J16 = k_{16} * (\Delta SA - \Delta CW)$  (13)
- $J18 = k_{18} * CW$  (14)
- $J19 = k_{19} * CW^2$  (15)

As equações de diferença que representam a variação das unidades dos estoques através do tempo determinadas no modelo foram baseadas no balanço de entradas e saídas dos estoques presentes no diagrama sistêmico (Figura 2):

$$\Delta SD = k_2 * R * AU + k_5 * (USM-SD) - k_4 * SD^2 - k_7 * SD - k_8 * SD * JR \quad (16)$$

$$\Delta USM = k_7 * SD + k_{10} * (SA-USM) - k_5 * (USM-SD) - k_{13} * USM * BU * JR - k_{11} * USM \quad (17)$$

$$\Delta SA = k_{11} * USM - k_{16} * (\Delta SA - \Delta CW) - k_{10} * (SA-USM) - k_{15} * SA \quad (18)$$

$$\Delta CW = (CF+GW) + k_4 * SD^2 + k_{16} * (\Delta SA - \Delta CW) - k_9 * CW * JR - k_{18} * CW - k_{19} * CW^2 \quad (19)$$

$$\Delta BU = k_{12} * USM * BU * LAI * JR - J14 \quad (20)$$

#### 4.4 Coleta de dados para calibração do modelo hidrológico

##### 4.4.1 Calibração dos valores dos estoques

Inicialmente, foram necessárias as dimensões dos estoques presentes na bacia do Taquarizinho. A área da bacia (AU), de acordo com mapeamento da Embrapa CNPTIA (2011) baseado nas cartas de ocupação de solo de Paranhos Filho (2000), é de 498.514.329 m<sup>2</sup>, sendo esta ocupada por 167.967.195 m<sup>2</sup> de Cerrado (33,7% da área total), 101.776.000 m<sup>2</sup> de agricultura (20,4%), 226.690.644 m<sup>2</sup> de pastagens (45,5%) e 2.080.490 m<sup>2</sup> relativos a outros usos (0,4%), referentes ao ano de 1996.

O estoque de biomassa (BU) foi obtido a partir das informações de uso e ocupação de solo, além da estimativa de 70 toneladas de biomassa vegetal por hectare

(aérea+subterrânea) para Cerrado *sensu strictu* (BUSTAMANTE et al., 2006; FEARNSIDE, 1996), 10 toneladas por hectare de biomassa para pastagens (FEARNSIDE, 1996), e 7 t.ha<sup>-1</sup> para a agricultura, baseando-se na biomassa total da soja (CAVALETT, 2008). Considerando-se o uso do solo em 1996, o estoque médio de biomassa na bacia foi de 29,5 t.ha<sup>-1</sup> ou 2,95 kg.m<sup>-2</sup>.

O estoque de água superficial, que representa a interface entre o solo e atmosfera foi baseado na lâmina média de chuva estimada em três dias por Tilley e Brown (2006) para trocas com a atmosfera. De acordo com dados da estação ANA, código 1854002, disponíveis no portal SNIRH (Sistema Nacional de Informações sobre Recursos Hídricos), a pluviosidade média anual entre os anos de 1976 a 2010, foi de 1396mm, o que equivale a 3,83 mm de água por dia (ANA, 2011). Desta maneira, o valor de calibração para a lâmina superficial (SD) é estimada em 3 vezes a pluviosidade média de um dia ou 11,48 mm.

O valor inicial para estoque de água no solo (USM) foi baseado no valor médio da capacidade de água disponível (CAD) no solo em reter água anualmente em Coxim-MS, em média de 100 mm de água ao longo do ano, com variações para mais na época de chuva e para menos na estação seca (INMET, 2010). Partindo-se inicialmente de um valor de 100 mm, chegou-se a um valor inicial ótimo de 130 mm, que foi aquele que mais se adequou quando se confrontou dados simulados e observados na região.

O estoque de água pertencente ao aquífero superficial (SA) também foi estimado devido a ausência de dados locais disponíveis no Sistema de Informações de Águas Subterrâneas (SIAGAS) pertencente ao Serviço Geológico Brasileiro (CPRM). Desta maneira, o valor da espessura inicial do aquífero superficial foi estimada em 2 metros baseada na literatura, considerando-se a variação de seu nível entre períodos de seca e cheia (MANZIONE, 2007; GIRARD et al. 2003). Considerando-se que o aquífero superficial ocupa toda a área da bacia e encontra-se uma região de porosidade próxima a 15% (GASTMANS et al., 2010) por pertencer a uma região de afloramento do Sistema Aquífero Guarani (SAG), o volume de água armazenado em SA foi estimado em 1,50 E8 m<sup>3</sup>.

O volume de água dos canais (CW) foi obtido através de informações sobre o comprimento dos cursos de água obtidos no mapeamento disponibilizado pela Embrapa CNPTIA (2011). Trata-se de 91.919 km de rios perenes, 244.974 km rios temporários, e 35.267 km de rios sem definição. Para estimativa do volume dos canais, consideraram-se os rios sem definição como sendo perenes, e além disso, admitiu-se que os canais

temporários estão disponíveis somente durante a metade do ano (época de chuvas, de outubro a março). Os dados batimétricos do rio Taquarizinho e seus principais contribuintes variam, mas foram estimados como sendo equivalentes a uma largura média entre as margens de 9,05 m e profundidade média de 0,45 m baseado em estudo anterior na bacia (IDE e RIBEIRO, 2009). Desta maneira, foi possível estimar o volume médio nos canais da bacia (CW) como 1,02 E6 m<sup>3</sup> de água para fins de calibração.

#### *4.4.2 Calibração dos valores dos fluxos*

O modelo hidrológico foi calibrado previamente utilizando dados observados na região da bacia do Taquarizinho para o ano de 1995 e 1996. Os valores de fluxos iniciais de J2 até J19 utilizados na calibração foram os valores médios diários observados na região. A pluviosidade média anual foi de 1396 mm, o que equivale a 3,83 mm de água por dia (ANA, 2011) e, portanto, J2 é obtido multiplicando o fluxo diário pela área total da bacia (ver Tabela 3). Observando-se os dados de vazão do rio Taquarizinho entre os anos 1995 e 1996 (ANA, 2011), a entrada de água via escoamento de base (CF+GW) varia entre 4,5 e 7 m<sup>3</sup>s<sup>-1</sup>. Há pouca informação na literatura sobre os valores exatos deste fluxo ao longo do tempo, e por isso foi utilizado na calibração o valor médio observado de 1995 a 1996 no site SNIRH (ANA, 2011), equivalente a 4,6 m<sup>3</sup>s<sup>-1</sup>, que resulta num fluxo médio de 3,97 E5 m<sup>3</sup>d<sup>-1</sup>.

O valor de escoamento superficial (J4) na bacia equivalia a cerca de 4% da pluviosidade (J2) no ano de 1996, baseado em simulação hidrológica utilizando Soil and Water Assessment Tool (BARSANTI et al., 2003) e dados observados por Oliveira (2007) na bacia do Taquarizinho. Portanto, o valor de calibração para J4 = 0,04\*(1,91 E6)= 7,63 E4 m<sup>3</sup>d<sup>-1</sup>.

Os valores iniciais de fluxo de água por capilaridade do solo (J5), do aquífero superficial (J10) e a troca entre o aquífero superficial e os canais de água (J16) foram estimados como sendo 0,01 mm d<sup>-1</sup>, baseado em dados de Tilley e Brown (2006). Considerando a área da bacia do Taquarizinho, estima-se que estes fluxos iniciais sejam da ordem 4,99 E3 m<sup>3</sup>.d<sup>-1</sup>.

Os valores de evaporação do solo (J8), evaporação no canal (J9) e transpiração (J13), foram baseados no valor médio de evapotranspiração (J8+J9+J13) disponibilizados pelo produto MOD16A2 “MODIS subsetted land products” de satélites do Oak Ridge National Laboratory Distributed Active Archive Center (ORNL DAAC, 2010). Para acesso à base de dados, foram necessárias as coordenadas centrais da bacia do Taquarizinho,

calculadas como: latitude (-19.060819) e a longitude (-54.776458), considerando que toda a bacia estaria coberta por um retângulo de 21 km de largura por 39 km de comprimento, conforme mostrado na Figura 3. Após a aquisição de dados, o valor médio de evapotranspiração na área selecionada foi de 2,07 mm d<sup>-1</sup>, ou seja, o somatório J8+J9+J13 equivale a 1,03 E6 m<sup>3</sup> d<sup>-1</sup>. Destaca-se que os dados do satélite referem-se ao período de 2006-2007, e foram extrapolados para a realidade de 1995-1996, dada a indisponibilidade de dados para a década de 90. Visando os menores desvios relativos entre evapotranspiração simulada e observada na etapa de validação, os dados calibrados foram de J8=4,99 E4 m<sup>3</sup>d<sup>-1</sup>, J9=1,13 E4 m<sup>3</sup>d<sup>-1</sup>, J13=9,70 E5 m<sup>3</sup>d<sup>-1</sup>.

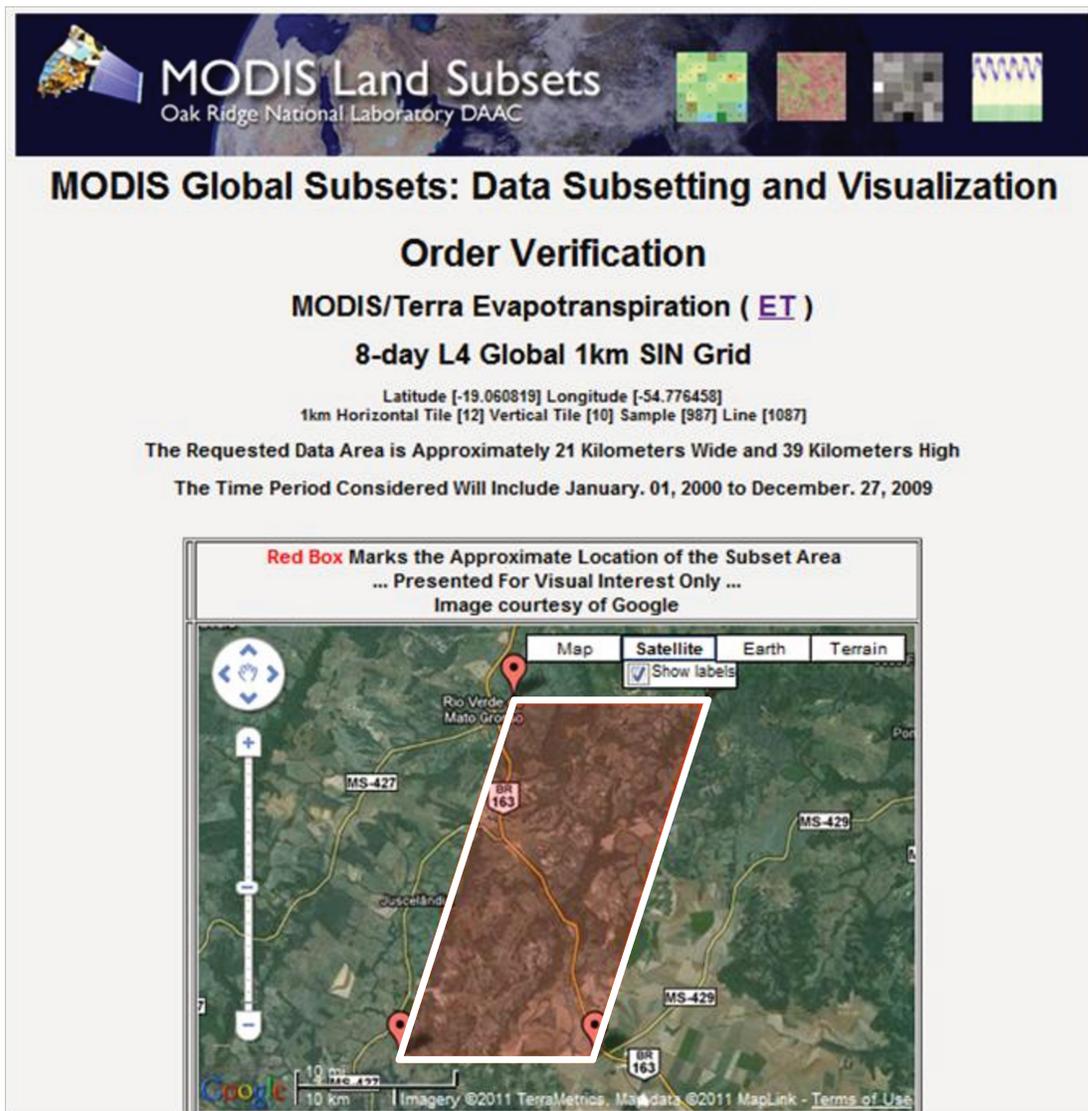


Figura 3. Área delimitada que inclui a bacia do Taquarzinho para acesso dos dados LAND MODIS (ORNL DAAC, 2010), produto MOD16A2 (evapotranspiração).

O valor de infiltração de água no solo (J7) foi obtido pela equação de balanço no estoque superficial (SD), onde  $J7 = J2+J5-J4-J8 = 1,78 \text{ E6 m}^3\text{d}^{-1}$ . Da mesma forma, o valor de percolação de água para o aquífero superficial (J11) foi obtido pelo balanço no solo (USM), ou seja,  $J11= J7-J13= 8,11 \text{ E5 m}^3\text{.d}^{-1}$ .

A descarga pelo canal (J18+J19) foi obtida pela soma do escoamento superficial (J4) com o escoamento de base (CF+GW). Observou-se, na etapa de calibração da vazão, que ambas a descarga quadrática (J19) e a descarga linear (J18) pelo canal deveriam apresentar uma proporção de 50% em relação à vazão do canal, visando à diminuição dos erros entre valores simulados e observados para a vazão.

O valor do fluxo de água do aquífero superficial para o aquífero profundo (J15, equivalente à recarga de aquífero) foi calculado pelo balanço de massa para toda a bacia do Taquarizinho, ou seja,  $J15= J2+CF+GW-(J8+J9+J13+J18+J19)= 8,00 \text{ E5 m}^3\text{d}^{-1}$ .

O valor de produção de biomassa (J12) no modelo equivale ao GPP (Gross Primary Production), que é a produção primária bruta obtida através da fotossíntese na bacia, foi obtida de maneira similar à evapotranspiração. Através do MOD17A2 “MODIS subsetted land products” do Oak Ridge National Laboratory Distributed Active Archive Center (ORNL DAAC, 2010), foi calculado o valor médio de GPP na bacia do Taquarizinho entre os anos de 2000 a 2010. Através dos dados observados entre o valor médio da produção primária bruta em toda a área selecionada, relativa a bacia do Taquarizinho foi de  $17,15 \text{ kg C ha}^{-1}\text{d}^{-1}$ , no entanto o valor de calibração ideal para a década de 90 foi de  $12 \text{ kg C ha}^{-1}\text{d}^{-1}$ . Considerando o conteúdo aproximado de 50% de carbono (IPCC, 2006) na biomassa, obtém-se um valor aproximado de 24 kg de biomassa por hectare por dia na bacia. Considerando toda a extensão da bacia, o valor de calibração para J12 foi de  $1,50 \text{ E6 kg biomassa.d}^{-1}$ . O valor de decaimento da biomassa ( $J14=1,14 \text{ E6 kg biomassa d}^{-1}$ ) foi calculado a partir do “modelo hidro-carbono” pela soma da respiração autótrofa (J21) com a perda de biomassa para liteira (J22) convertidas de massa de carbono para massa de biomassa, que será discutido na descrição de conexão do modelo hidrológico e do carbono (seção 4.11).

De maneira similar à produção primária bruta, os valores de temperatura diurna da superfície (T) e índice de área foliar (LAI) foram obtidos para a bacia do Taquarizinho, através do sistema de informações MOD11A2 e MOD15A2 (ORNL DAAC, 2010). O valor médio da temperatura diurna obtida foi de  $30,1 \text{ }^\circ\text{C}$  e o índice de área foliar médio foi 1,25. É importante salientar que os valores do índice de área foliar observados na bacia entre 2006-2007 foram ajustados a uma curva senoidal utilizando o software Origin® 8.5, na

tentativa de minimizar a quantidade de dados de entrada no modelo, sendo apenas uma equação suficiente para encontrar o índice aproximado para cada dia do ano. A equação a seguir representa a curva senoidal obtida onde d é o dia Juliano, que varia de 1 a 365:

$$LAI = 1,24517 + 0,39822 * \text{sen}[(\pi * (d + 22,7109) * 178,669)] \quad (21)$$

Tabela 2. Descrição das informações de entradas, fluxos e estoques para calibração de modelo da bacia do Taquarizinho.

Nota	Descrição	Variável	Equação	Calibração			Referência
				Valor	Unidade	Valor de k	
<b>Entradas</b>							
1	Precipitação	R	-	1396	mm.ano <sup>-1</sup>		ANA (2011)
2	Luz solar	S	-	1	adimensional		Tilley e Brown (2006)
3	Escoamento de base	CF+GW	-	3,97 E5	m <sup>3</sup> .d <sup>-1</sup>		Flores(2007)
4	Temperatura	T	-	30,1	°C		ORNL DAAC (2010)
5	Índice de área foliar	LAI	$1,2+ 0,4*\text{sen}[(\pi*(d+22,7)*178)]$	1,25	adimensional		ORNL DAAC (2010)
<b>Fluxos</b>							
6	Volume de chuva precipitada	J2	$k_2*R*AU$	1,91 E6	m <sup>3</sup> .d <sup>-1</sup>	1	ANA (2011)
7	Escoamento superficial	J4	$k_4*SD^2$	7,63 E4	m <sup>3</sup> .d <sup>-1</sup>	2,33 E-9	Barsanti et al. (2003)
8	Ação da capilaridade vertical	J5	$k_5*(USM-SD)$	4,99 E3	m <sup>3</sup> .d <sup>-1</sup>	8,44 E-5	Tilley e Brown (2006)
9	Infiltração no solo	J7	$k_7*SD$	1,78 E6	m <sup>3</sup> .d <sup>-1</sup>	3,11 E-1	Balanço, J2+J5-J4-J8
10	Evaporação no terreno	J8	$k_8*SD*JR1$	4,99 E4	m <sup>3</sup> .d <sup>-1</sup>	1,34 E-2	ORNL DAAC (2010)
11	Evaporação no canal	J9	$k_9*SD*JR2$	1,13 E4	m <sup>3</sup> .d <sup>-1</sup>	1,71 E-2	ORNL DAAC (2010)
12	Ação da capilaridade vertical	J10	$k_{10}*(SA-USM)$	4,99 E3	m <sup>3</sup> .d <sup>-1</sup>	5,88 E-5	Tilley e Brown (2006)
13	Insolação no terreno	JR	$1+0,25*\text{sen}[\pi*(d)/180]$	0,65	adimensional	-	Tilley e Brown (2006)
14	Percolação para o lençol	J11	$k_{11}*USM$	8,11 E5	m <sup>3</sup> .d <sup>-1</sup>	1,25 E-2	Balanço, J7-J13
15	Produção bruta terrestre	J12	$k_{12}*USM*JR*BU*LAI$	1,50 E6	kg.d <sup>-1</sup>	1,54 E-11	ORNL DAAC (2010)
16	Transpiração terrestre	J13	$k_{13}*USM*JR1*BU*LAI$	9,70 E5	m <sup>3</sup> .d <sup>-1</sup>	1,56 E-11	ORNL DAAC (2010)
17	Perda de biomassa terrestre	J14	$(J21+J22)*2$	1,14 E6	kg.d <sup>-1</sup>	-	Modelo hidro-carbono
18	Saída do aquífero superficial	J15	$k_{15}*SA$	8,00 E5	m <sup>3</sup> .d <sup>-1</sup>	5,35 E-3	Balanço, entrada=saída
19	Troca aquífero/canal	J16	$k_{16}*[ (\Delta SA-\Delta CW)]$	4,99 E3	m <sup>3</sup> .d <sup>-1</sup>	-1,14 E-3	Tilley e Brown (2006)
20	Descarga linear	J18	$k_{18}*CW$	2,37 E5	m <sup>3</sup> .d <sup>-1</sup>	2,33 E-	Assumiu-se 50% descarga
21	Descarga quadrática	J19	$k_{19}*CW^2$	2,37 E5	m <sup>6</sup> .d <sup>-2</sup>	12,29 E-7	Assumiu-se 50% descarga

Tabela 2. Cont. Descrição das informações de entradas, fluxos e estoques para calibração de modelo da bacia do Taquarizinho.

Nota	Descrição	Variável	Equação	Calibração		Referência
				Valor	Unidade	
Estoques						
22	Biomassa terrestre por m <sup>2</sup>	BU	-	1,47 E9	kg biomassa	<i>Bustamante et al. (2006), Fearnside (1996), e Cavalett (2008)</i>
			-	2,95	kg.m <sup>-2</sup>	
23	Estoque superficial	SD	área x profundidade	5,72 E6	m <sup>3</sup>	-
	profundidade média		-	11,48	mm	<i>Tilley e Brown (2006), ANA (2011)</i>
24	Umidade do solo	USM	área x profundidade	6,48 E7	m <sup>3</sup>	-
	profundidade média		-	130	mm	<i>Inmet (2010)</i>
25	Volume do lençol	SA	área x prof.x porosidade	1,50 E8	m <sup>3</sup>	-
	profundidade média		-	2	m	<i>Girard et al. (2003), Manzione (2007)</i>
	porosidade média		-	15	%	
26	Água dos Canais	CW	comprim.x prof.x largura	1,02 E6	m <sup>3</sup>	<i>Embrapa CNPTIA (2011)</i>
	Comprimento total			249.673	m	<i>Embrapa CNPTIA (2011)</i>
	profundidade			0,45	m	<i>Ide e Ribeiro (2009)</i>
	largura			9,05	m	<i>Ide e Ribeiro (2009)</i>
27	Área da bacia	AU	-	498.514.329	m <sup>2</sup>	<i>Embrapa CNPTIA (2011)</i>
	Mata Nativa (Cerrado)	AN	-	167.967.195	m <sup>2</sup>	<i>Embrapa CNPTIA (2011)</i>
	Agricultura (soja)	AA	-	101.776.000	m <sup>2</sup>	<i>Embrapa CNPTIA (2011)</i>
	Pastagens	AP	-	226.690.644	m <sup>2</sup>	<i>Embrapa CNPTIA (2011)</i>

#### 4.5 Validação do modelo hidrológico 1995-1996

O modelo hidrológico foi alimentado com os valores de pluviosidade diária observados na estação pluviométrica código 1854002 (ANA, 2011) entre os anos de 1995 e 1996, totalizando 731 dias (ver Gráfico 1). A validação do modelo hidrológico foi realizada comparando os valores de descarga do canal simulada e os valores monitorados diariamente na estação fluviométrica localizada na seção rio Taquarizinho, código 66865000 (ANA, 2011).

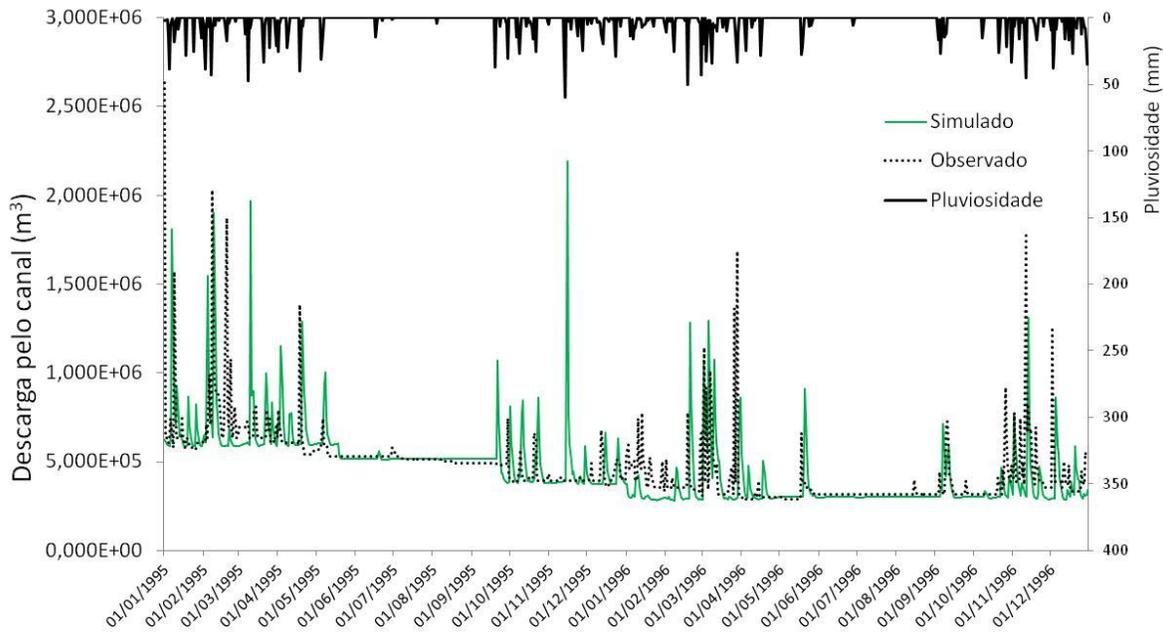


Gráfico 1. Validação da descarga no rio Taquarizinho para os anos 1995-1996.

Observam-se, no Gráfico 1, os valores simulados de descarga pelo canal (linha cheia), que equivalem a soma dos fluxos J18 e J19 no modelo hidrológico criado. É possível notar que existem alguns picos de descarga da simulação que estão relacionados a rápida resposta do modelo em relação a eventos de chuva, como por exemplo o dia 15/11/1995, quando não foi observado pico de vazão nesta seção do rio (linha pontilhada). Apesar de algumas superestimações ou subestimações de vazão em determinados dias, analisando os dados de vazão dia a dia ao longo de janeiro de 1995 a dezembro de 1996, obteve-se um erro percentual médio de 18%, obtido através da equação geral (22) que apresenta o valor em módulo do erro diário:

$$Erro\% = \frac{|Valor_{simulado} - Valor_{observado}|}{Valor_{observado}} \quad (22)$$

Além disto, observa-se no Gráfico 2 que, quando se leva em conta o valor acumulado de vazão ao longo dos 2 anos, o erro percentual médio do J18+J19 gerado pelo modelo é apenas 2% no final do período (1995-1996), pois o valor acumulado simulado (linha preta) foi de 3,39 E8 m<sup>3</sup> e o valor acumulado observado (linha cinza) foi de 3,45 E8 m<sup>3</sup> no final. Isto demonstra que o modelo parece gerar um somatório de descargas compatível com aquele observado na seção do rio Taquarizinho. Ou seja, os erros percentuais medidos parecem se anular ao longo dos dias, gerando um erro acumulado satisfatório ao final de 2 anos de descarga no canal.

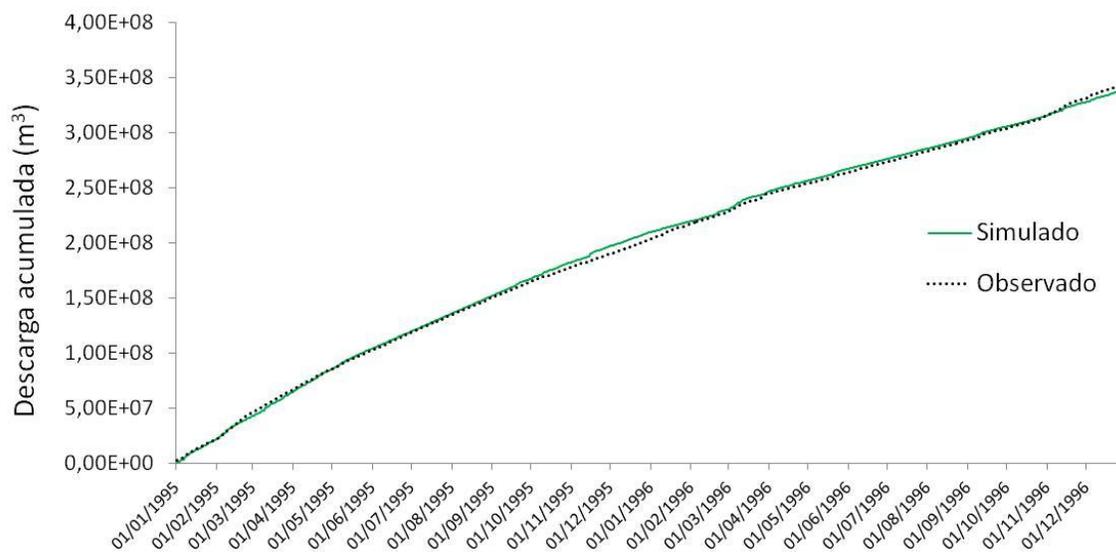


Gráfico 2. Validação da descarga acumulada no canal para os anos 1995-1996.

Outra etapa para a validação do modelo é a observação do nível do aquífero superficial em base diária ao longo do tempo de simulação. Observa-se, no Gráfico 3, os dados simulados para o estoque SA: a variação máxima para o nível de água no aquífero superficial entre períodos de seca e chuva foi de 1,1 metros durante 1995 a 1996, próximo a variação observada. Esta variação apresenta magnitude compatível com Manzione (2007) e Girard et al. (2003) que citam valores de oscilação anual entre 1 e 5 metros para aquífero superficial em Mato Grosso do Sul e Mato Grosso. No entanto, não estão disponíveis na base de dados SIAGAS (CPRM) valores diários para validação com dados reais de nível piezométrico em poços instalados na região. Para tanto, a complementação

da validação do modelo hidrológico será baseada em dados médios do balanço hídrico na região de Coxim-MS estimados para 1961-1990 (Gráfico 4), disponibilizados pelo Instituto Nacional de Meteorologia (INMET, 2010).

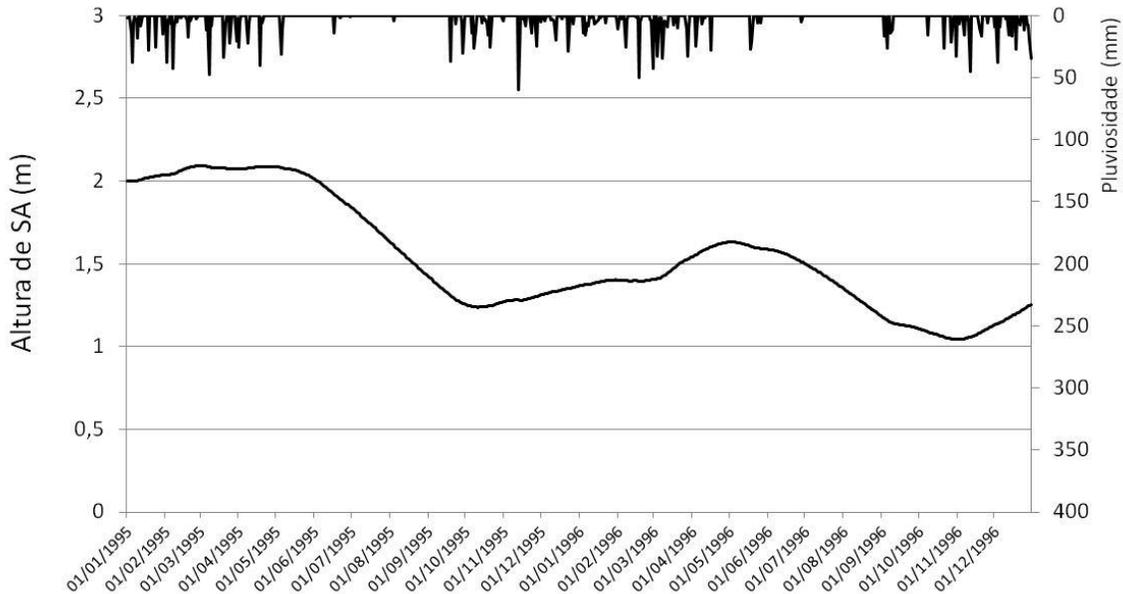


Gráfico 3. Valores simulados do nível do aquífero superficial para os anos 1995-1996.

Em relação à validação complementar pela umidade do solo (USM), observa-se no Gráfico 4 que o modelo gerou valores simulados de estoque de água na umidade no solo (USM) para o período de 1995-1996 (linha cheia) que estão dentro da faixa de magnitude de USM estimada pela curva de balanço hídrico climatológico para o Coxim-MS (linha pontilhada) para os anos 1961-1990 (INMET, 2010). O município em questão é o local mais próximo da bacia do Taquarizinho com dados disponíveis, sendo seu balanço hídrico climatológico uma variável *proxy* para validação. O Gráfico 4 é importante para confirmar a sazonalidade da água no solo, mostrando que os resultados simulados se aproximam daqueles estimados para a região.

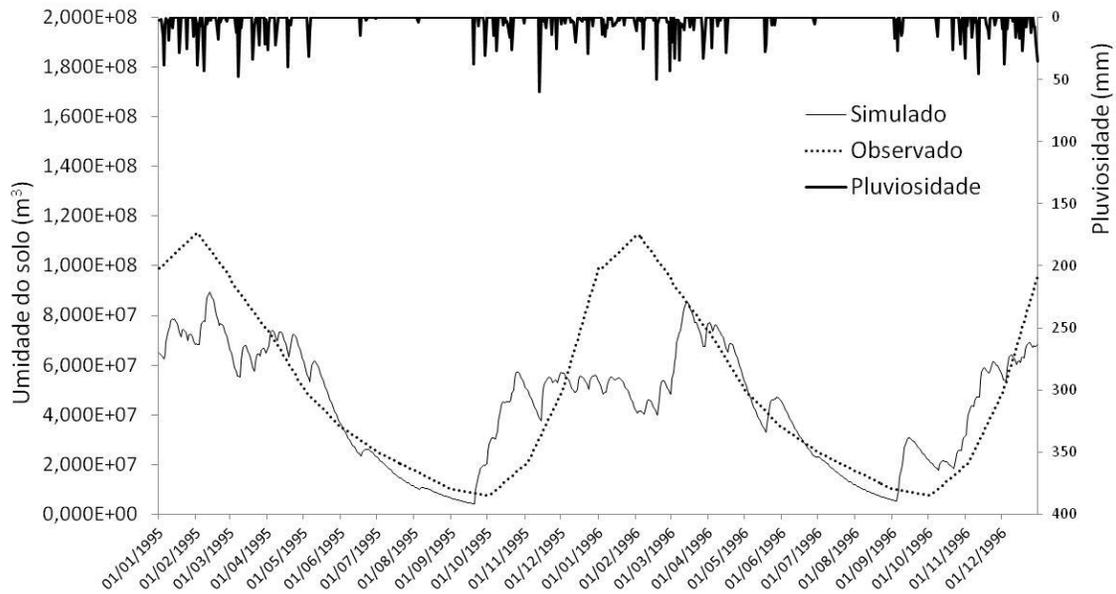


Gráfico 4. Valores diários simulados para água no solo (linha cheia) para pluviosidade de 1995-1996 e estimados pelo balanço hídrico Inmet (linha pontilhada).

Em relação ao Gráfico 4, foi possível calcular o erro percentual médio derivado da comparação em base diária dos valores simulados e estimados de USM utilizando-se da equação (22). O valor médio obtido foi de 46%. No entanto, trata-se de um cálculo que leva em conta valores estimados do Inmet (2010) para a região do município de Coxim-MS, que não se referem precisamente à realidade dos municípios envolvidos (São Gabriel do Oeste - MS e Rio Verde de Mato Grosso - MS).

Na tentativa de mostrar que erro o relativamente elevado no Gráfico 4 ocorreu em virtude da comparação com valores estimados (e não reais), o comportamento de USM no modelo foi rodado mais uma vez, mas com dados de pluviosidade de 2006-2007— cuja calibração será discutida posteriormente no modelo hidro-carbono. É possível notar que a nova curva de USM simulada apresenta um padrão de comportamento bem mais próximo ao da curva estimada para o município de Coxim-MS (Gráfico 5). Além disto, é possível observar uma maior sincronia entre as diferentes curvas de USM (simulada e estimada Inmet) e um menor erro percentual calculado (34%). Isto se deve, possivelmente, à maior pluviosidade no período de 2006-2008 (observar a intensidade das barras pretas invertidas), que elevou o nível de USM aos patamares médios estimados para a região confrontada na validação.

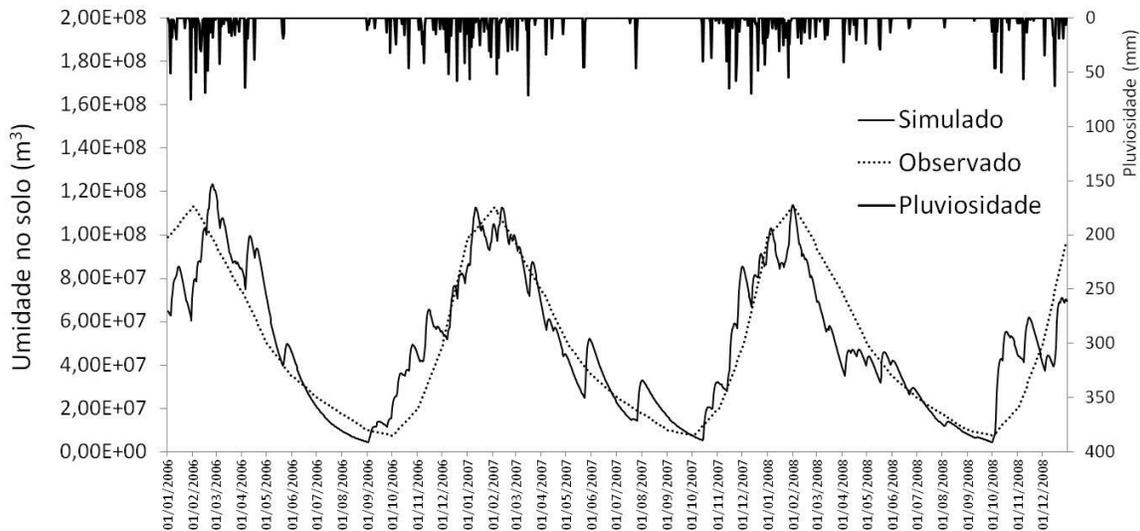


Gráfico 5. Valores simulados de água no solo (linha cheia) com pluviosidade 2006-2008 e estimados (linha pontilhada) pelo balanço hídrico climatológico (Inmet, 2010).

Desta maneira, o modelo hidrológico para a bacia do Taquarizinho rodado com dados de pluviosidade de 2006-2008 gerou valores mais próximos e apresentou picos e vales de USM mais sincronizados com aqueles do balanço hídrico climatológico estimado para a região. Assumindo que o objetivo do presente trabalho não é a obtenção de um modelo de alta precisão, mas sim a reprodução de padrões de curvas dentro da magnitude de grandeza observada (ou estimada) para a região, admitir-se-á que a curva de fluxo de descarga e de estoque de umidade no solo geraram valores aceitáveis para a continuidade da construção do modelo visando a inclusão dos fluxos de carbono.

Um motivo pelo qual existem desvios relativamente elevados entre a simulação e a realidade é qualidade dos dados de entrada (pluviosidade, principalmente) e de validação do modelo. Os dados de pluviosidade são medidos em uma estação pluviométrica (estação ANA código 1854002) que apresenta um raio de alcance limitado capaz de ignorar alguns eventos de chuva ocorridos na área total de 496 km<sup>2</sup>. Considerando que a chuva (J2) é a entrada principal do modelo, esta limitação de dados vindos de apenas uma única estação pode explicar parte das respostas super ou subestimadas do modelo quanto à vazão do rio e à umidade do solo. Além disto, os dados utilizados na validação – tais como a vazão observada no posto fluviométrico da ANA, código 66865000 – estão

sujeitos aos erros da régua linimétrica e de mudanças na equação da curva-chave<sup>6</sup>, que dependem das dimensões da seção transversal do rio, as quais estão em constante mudança devido a deposição e remoção de sedimentos do leito. Em relação à validação pela umidade do solo (USM), a confrontação de dados simulados com valores estimados para um período de 1961 a 1990 pode explicar parte do erro percentual, dada a generalização do comportamento real do balanço hídrico no solo, baseado na interpolação de valores mensais disponibilizados pelo Inmet (2010). Apesar da inexistência de mais estações pluviométricas na bacia, de monitoramento da água subterrânea local e de valores locais para o balanço hídrico no solo que auxiliariam o refinamento do modelo hidrológico, assume-se que os dados levantados neste trabalho são suficientes para a sua validação.

#### *4.6 Fator de escoamento superficial*

Antes da construção do modelo denominado “hidro-carbono”, não se pode ignorar a necessidade de modelar os efeitos da ocupação e uso do solo no modelo hidrológico. Torna-se imprescindível, portanto, vincular algum componente do modelo à área existente com diferentes coberturas vegetais e as práticas de manejo existente na bacia. De acordo com Pruski, Brandão e da Silva (2004), o escoamento superficial é de fundamental importância para o projeto de obras de engenharia e estudos hidrológicos que possam prever a vazão a partir do conhecimento da fração da precipitação escoada superficialmente. Cronologicamente, após o evento de chuva, o escoamento superficial (J4) é o primeiro evento do modelo influenciado pelo uso do solo. Sabe-se que uma mudança na magnitude de J4 é capaz de afetar todos os fluxos hidrológicos posteriores calculados pelo modelo, que é baseado em um balanço de massa, onde a mudança em um fluxo altera todas as componentes da equação pertencentes ao balanço na calibração. Portanto, o presente modelo hidrológico partirá da hipótese que o runoff (J4), aliado a um fator de correção para o uso do solo, será capaz de modificar o comportamento do modelo quando inseridos diferentes valores de área de mata nativa (AN), de agricultura (AA) e pastagens (AP). Ou seja, apesar de a calibração para o período 1995-1996 considerar J4 como sendo uma fração da pluviosidade (4% de J2), o modelo hidrológico considerará cenários de mudança no uso no solo capaz de interferir no valor runoff.

---

<sup>6</sup> Curva-chave é a relação entre os níveis d'água com as respectivas vazões de um posto fluviométrico. Para o traçado da curva-chave em um determinado posto fluviométrico, é necessário que disponha de uma série de medição de vazão no local, ou seja, a leitura da régua e a correspondente vazão (PEREIRA, NETO e TUCCI, 2003).

É interessante observar que um único fator multiplicativo que leve apenas em conta o uso do solo, não seria capaz de traduzir toda a complexidade do escoamento superficial em uma bacia hidrográfica. Além do uso do solo, o *runoff* depende de fatores agroclimáticos, cobertura e tipos de uso de solo, da configuração da rede de drenagem, e da topografia da bacia (PRUSKI, BRANDÃO E DA SILVA, 2004). Neste sentido, assumir-se-á que o fator de perda de solo por erosão laminar descrito na Universal Soil Loss Equation (USLE) seria uma variável *proxy* do escoamento superficial em uma bacia, pois o evento de perda de solo por erosão hídrica está diretamente ligado à capacidade do escoamento superficial em carrear partículas de solo. Como pode-se observar na equação (23), o evento de perda de solo média anual em um sistema ("A") depende dos fatores:

$$A = R.K.(L.S).C.P \quad (23), \quad \text{onde:}$$

R= fator de erosividade da chuva (fixo na bacia);

K= fator de erodibilidade dos solos (fixo na bacia);

L.S = fator topográfico de comprimento e inclinação da rampa (fixo na bacia);

C= fator de uso do solo (variável no modelo);

P= fator de práticas conservacionistas (variável no modelo).

O cálculo do fator "A" depende de um banco de dados SIG (Sistema de Informação Geográfica), onde os valores de R, K, L.S, C e P sejam obtidos para os diversos polígonos que compõem a bacia do Taquarizinho. Assim, propõe-se um coeficiente  $k_w$  que representa a relação entre perda de solo média na bacia e *runoff* ( $k_w = J4 / \bar{A}$ ) em uma determinada condição de uso do solo. Considerando  $k_w$  como um valor fixo para a bacia do Taquarizinho, qualquer mudança de uso de solo que aumente o valor de perda de solo média na bacia ( $\bar{A}$ ) aumentará o *runoff* na proporção estabelecida pelo fator  $k_w$  como será mostrado a seguir.

$$k_w = J4 / \bar{A} \quad (24)$$

A maior parte dos dados necessários para o cálculo do fator criado  $k_w$  encontra-se em pesquisa realizada por Bacchi (2007), onde os coeficientes da USLE foram obtidos por SIG. Mais precisamente, a bacia foi fragmentada em 66 polígonos pois dividiu-se a área total em 33 sub-bacias de tamanhos variados (Figura 4), sendo que cada uma delas

foi ainda subdividida em lado esquerdo e direito ao curso de água principal. Isto se deve ao fato do cálculo de perda de solo levar em conta o somatório de ambas as áreas em contato com as margens do curso principal inserido em cada sub-bacia. Conforme Bacchi (2007), para cada uma das 66 partes há um valor médio de R,K,L.S, e um fator de uso e manejo do solo (C e P) predominante.



Figura 4. Localização das 33 sub-bacias do Taquarizinho, imagem de Bacchi (2007).

#### *4.7 Cálculo do fator de escoamento superficial*

Baseado nos dados de R, K, e L.S de Bacchi (2007), e na classificação de uso do solo elaborada pela Embrapa CNPTIA (2011) para o ano de 1996, a Tabela 3 mostra os fatores da USLE e o cálculo da perda de solo na bacia do Taquarizinho.

O mapeamento desenvolvido para o presente trabalho agregou o mosaico com diferentes classificações de uso do solo em apenas três tipos na bacia: mata nativa (porte arbóreo, assumido sendo Cerrado s.s.), agricultura (assumido como soja sendo a principal, alternada com outra cultura), e pastagens (vegetação de porte herbáceo natural ou plantado), cujos coeficientes C e P foram aqueles de Bacchi (2007). No caso da agricultura, o fator  $P=0,2$  demonstra que em 1996 a agricultura era realizada com práticas de conservação do solo. Por isso não foi utilizado  $P=1$  que significa a ausência total de práticas conservacionistas.

Tabela 3. Fatores da equação USLE baseado em Bacchi (2007) adequados para mapeamento de 1996 (Embrapa CNPTIA, 2011).

Sub-bacia	Uso	Área (km <sup>2</sup> )	R	K	C	P	L.S	A (tonha <sup>-1</sup> ano <sup>-1</sup> )	Perda(ton/ano)	% Perda
1e	agricultura	12,47	7030	0,016	0,1415	0,2	0,49	1,55976016	1945,02	0,400%
1d	agricultura	6,73	7030	0,016	0,1415	0,2	0,42	1,33693728	899,76	0,185%
2e	agricultura	8,63	7030	0,016	0,1415	0,2	2,57	8,18078288	7060,02	1,453%
2d	agricultura	2,67	7030	0,016	0,1415	0,2	2,72	8,65826048	2311,75	0,476%
3e	agricultura	6,54	7030	0,016	0,1415	0,2	3,87	12,3189220	8056,58	1,659%
3d	pastagem	1,08	7030	0,016	0,011	1	1,84	2,2765952	245,87	0,051%
4e	agricultura	15,08	7030	0,016	0,1415	0,2	0,91	2,8966974	4368,22	0,899%
4d	agricultura	8,85	7030	0,016	0,1415	0,2	1,05	3,3423432	2957,97	0,609%
5e	agricultura	8,84	7030	0,016	0,1415	0,2	1,04	3,3105113	2926,49	0,602%
5d	agricultura	8,72	7030	0,016	0,1415	0,2	2,69	8,5627649	7466,73	1,537%
6e	agricultura	12,45	7030	0,016	0,1415	0,2	2,2	7,0030048	8718,74	1,795%
6d	agricultura	3,55	7030	0,016	0,1415	0,2	1,35	4,2972984	1525,54	0,314%
7e	agricultura	3,31	7030	0,016	0,1415	0,2	2,59	8,2444465	2728,91	0,562%
7d	agricultura	3,63	7030	0,016	0,1415	0,2	2,34	7,4486505	2703,86	0,557%
8e	nativa	7,65	7030	0,005	0,003	1	10,15	1,0703175	818,79	0,169%
8d	pastagem	2,40	7030	0,016	0,011	1	4,5	5,5677600	1336,26	0,275%
9e	nativa	5,96	7030	0,005	0,003	1	16,83	1,7747235	1057,73	0,218%
9d	nativa	1,95	7030	0,005	0,003	1	5,75	0,6063375	118,23	0,024%
10e	nativa	4,92	7030	0,045	0,003	1	2,19	2,0784195	1022,58	0,211%
10d	nativa	1,54	7030	0,045	0,003	1	3,87	3,6728235	565,61	0,116%
11e	pastagem	5,42	7030	0,045	0,011	1	5,88	20,461518	11090,14	2,283%
11d	pastagem	6,09	7030	0,045	0,011	1	2,45	8,5256325	5192,11	1,069%
12e	pastagem	9,66	7030	0,045	0,011	1	4,38	15,241743	14723,52	3,031%
12d	pastagem	4,92	7030	0,005	0,011	1	2,85	1,1019525	542,16	0,112%
13e	pastagem	11,19	7030	0,045	0,011	1	6,32	21,992652	24609,77	5,066%
13d	nativa	9,79	7030	0,005	0,003	1	6,62	0,6980790	683,41	0,141%
14e	nativa	3,28	7030	0,045	0,003	1	3,18	3,0179790	989,89	0,204%
14d	pastagem	7,81	7030	0,005	0,011	1	8,38	3,2401270	2530,53	0,521%
15e	nativa	4,61	7030	0,045	0,003	1	6,83	6,4820115	2988,20	0,615%
15d	pastagem	6,26	7030	0,045	0,011	1	4,32	15,032952	9410,62	1,937%
16e	nativa	18,45	7030	0,045	0,003	1	8,78	8,3326590	15373,75	3,165%
16d	pastagem	27,01	7030	0,045	0,011	1	4,03	14,023795	37878,27	7,798%
17e	pastagem	20,37	7030	0,045	0,011	1	11,26	39,183111	79815,99	16,432%

Tabela 3. Cont. Fatores da equação USLE baseado em Bacchi (2007) adequados para mapa de 1996 (Embrapa CNPTIA, 2011).

Sub-bacia	Uso	Área (km <sup>2</sup> )	R	K	C	P	L.S	A (tonha <sup>-1</sup> ano <sup>-1</sup> )	Perda(ton/ano)	% Perda
17d	nativa	13,64	7030	0,045	0,003	1	0,58	0,550449	750,81	0,155%
18e	pastagem	6,52	7030	0,045	0,011	1	0,87	3,0274695	1973,910114	0,406%
18d	nativa	5,60	7030	0,045	0,003	1	4,21	3,9955005	2237,48028	0,461%
19e	nativa	5,19	7030	0,005	0,003	1	8	0,8436	437,8284	0,090%
19d	pastagem	4,92	7030	0,005	0,011	1	8,2	3,17053	1559,90076	0,321%
20e	pastagem	13,93	7030	0,045	0,011	1	3,37	11,7270945	16335,84264	3,363%
20d	pastagem	15,69	7030	0,045	0,011	1	11,26	39,183111	61478,30116	12,657%
21e	pastagem	10,96	7030	0,045	0,011	1	9,23	32,1190155	35202,44099	7,247%
21d	nativa	2,06	7030	0,045	0,003	1	1,26	1,195803	246,335418	0,051%
22e	pastagem	4,42	7030	0,045	0,011	1	1,78	6,194133	2737,806786	0,564%
22d	pastagem	5,38	7030	0,045	0,011	1	4,95	17,2252575	9267,188535	1,908%
23e	nativa	1,60	7030	0,045	0,003	1	1,9	1,803195	288,5112	0,059%
23d	pastagem	1,85	7030	0,045	0,011	1	3,88	13,501818	2497,83633	0,514%
24e	nativa	14,66	7030	0,045	0,003	1	3,47	3,2932035	4827,836331	0,994%
24d	pastagem	12,58	7030	0,045	0,011	1	5,15	17,9212275	22544,9042	4,641%
25e	nativa	15,04	7030	0,005	0,003	1	7,04	0,742368	1116,521472	0,230%
25d	pastagem	7,39	7030	0,045	0,011	1	4,23	14,7197655	10877,9067	2,239%
26e	nativa	12,54	7030	0,045	0,003	1	8,53	8,0953965	10151,62721	2,090%
26d	pastagem	2,25	7030	0,005	0,011	1	4,16	1,608464	361,9044	0,075%
27e	pastagem	3,02	7030	0,016	0,011	1	5,4	6,681312	2017,756224	0,415%
27d	nativa	5,05	7030	0,016	0,003	1	3,08	1,0393152	524,854176	0,108%
28e	nativa	5,36	7030	0,005	0,003	1	4,3	0,453435	243,04116	0,050%
28d	nativa	1,88	7030	0,005	0,003	1	2,72	0,286824	53,922912	0,011%
29e	pastagem	3,06	7030	0,005	0,011	1	4,67	1,8056555	552,530583	0,114%
29d	nativa	2,04	7030	0,005	0,003	1	3,26	0,343767	70,128468	0,014%
30e	nativa	2,77	7030	0,045	0,003	1	2,84	2,695302	746,598654	0,154%
30d	pastagem	6,14	7030	0,045	0,011	1	2,71	9,4303935	5790,261609	1,192%
31e	pastagem	9,14	7030	0,032	0,011	1	4,93	12,1995808	11150,41685	2,296%
31d	nativa	6,22	7030	0,032	0,003	1	1,79	1,2080352	751,3978944	0,155%
32e	nativa	15,95	7030	0,032	0,003	1	3,88	2,6185344	4176,562368	0,860%
32d	pastagem	9,98	7030	0,032	0,011	1	3,98	9,8487488	9829,051302	2,024%
33e	nativa	0,36	7030	0,005	0,003	1	2,16	0,227772	8,199792	0,002%
33d	pastagem	5,76	7030	0,005	0,011	1	1,21	0,4678465	269,479584	0,055%
<b>Total</b>		<b>494,78</b>						<b>9,82</b>	<b>485.742,22</b>	<b>100%</b>

Utilizando os dados da Tabela 3, verifica-se que a perda de solo total na bacia do Taquarizinho foi de 485.742,22 toneladas em 1996. Este valor foi calculado pela integração dos resultados da multiplicação do fator “ $\bar{A}$ ” pela área de cada um dos lados das sub-bacias. Portanto, considerando a área de 494,78 km<sup>2</sup> adotada por Barsanti et al. (2003), a perda de solo média em 1996 foi de  $\bar{A} = 9,82 \text{ ton ha}^{-1}\text{ano}^{-1}$ .

Portanto, considerando o uso do solo de 1996, constituído por 21% de agricultura (AA), 46% de pastagens (AP) e 34% de área nativa (AN), os valores de J4 e de perda de solo média na bacia foram utilizados para o cálculo do coeficiente  $k_w$ , conforme a equação (24):

$$k_w = \frac{J4}{\bar{A}} = \frac{7,63 E4}{9,82} = 7770,16 \frac{m^3 ha ano}{ton d}$$

No intuito de provar a hipótese de que podemos estimar o valor do escoamento superficial na bacia do Taquarizinho utilizando-se da perda de solo média  $\bar{A}$  e do fator  $k_w$ , far-se-á uso de valores obtidos por Barsanti et al. (2003) em um estudo de modelagem realizada na bacia do Taquarizinho utilizando SWAT (Soil and Water Assessment Tool) considerando diversos cenários de uso do solo. Em 1996, os autores estimaram que o valor médio do escoamento superficial na bacia do Taquarizinho era da ordem de 4% da pluviosidade anual, valor este utilizado na calibração do presente modelo. Complementarmente, Barsanti et al. (2003) realizaram uma simulação considerando o uso e ocupação do solo de 1966, e obtiveram um valor de escoamento superficial anual de 2% em relação a pluviosidade total anual.

Portanto, é necessário o mapeamento do uso e cobertura do solo no ano de 1966 a fim de corroborar a hipótese aqui levantada. Segundo a classificação realizada pela Embrapa CNPTIA (2011) utilizando as cartas de uso do solo de Paranhos Filho (2000) relativas a 1966, a bacia do Taquarizinho não apresentava a ocupação marcante por agricultura e pastagens tal como na década de 90. Como é possível ver na Figura 5, em 1966, o predomínio na bacia era de mata nativa (AN, 82% da área total), com menores proporções de pastagens (AP, 16%) e agricultura (AA, 2%).

Analogamente ao cálculo de perda do solo para 1996, a Tabela 4 apresenta como eram distribuídas as áreas de agricultura, pastagens e mata nativa no ano de 1966, a

partir do mapa e classificação realizada pela Embrapa CNPTIA (2011). É interessante acrescentar o modelo de mudança de uso do solo não depende apenas do valor em km<sup>2</sup> ou % da área total de AA, AN e AP. Mais do que isso, ele gera alterações mais drásticas no fator “A” caso haja mudança de uso da terra sobre uma *sub-bacia* com fator de comprimento e inclinação de rampa (L.S) mais elevado.

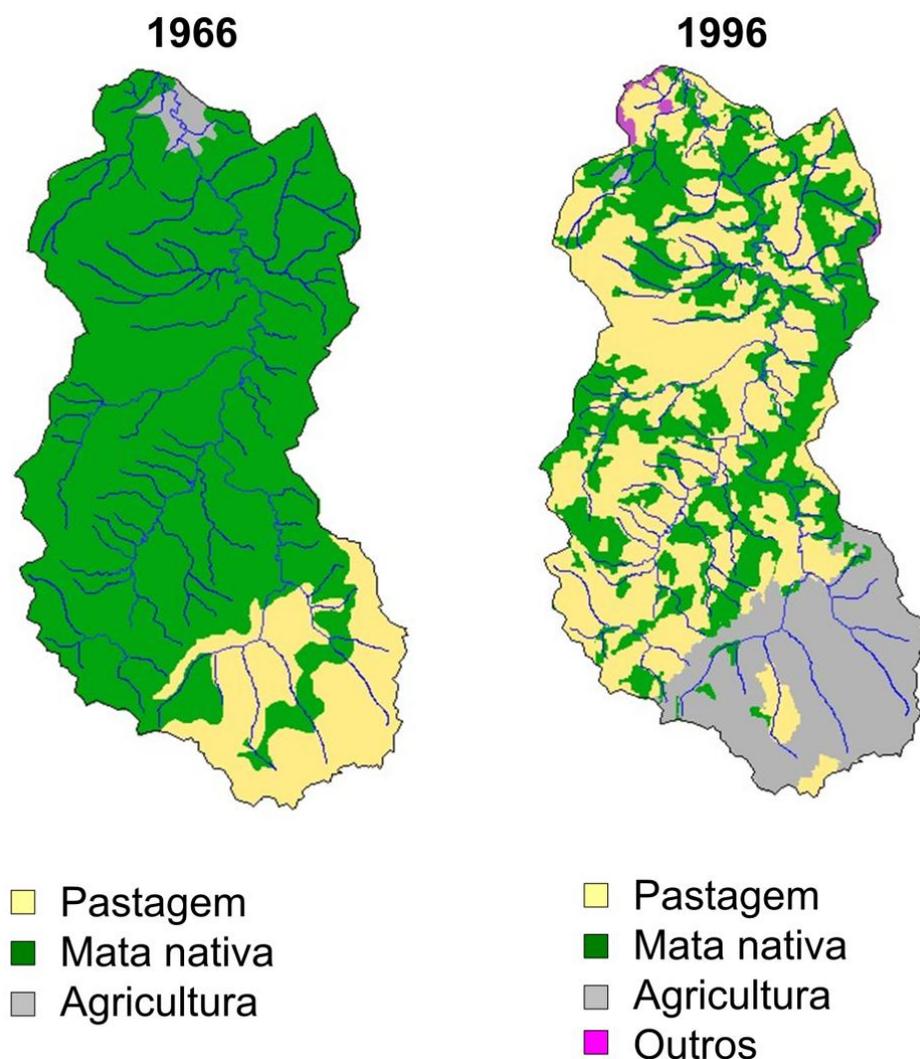


Figura 5. Comparativo de uso do solo em 1966 e 1996. A denominação “outros” refere-se a principalmente a zona urbana e água (Embrapa CNPTIA, 2011).

Observando-se a Tabela 4, apenas uma sub-bacia seria ocupada por agricultura em 1966: a 31e. Para o cálculo de “A”, consideraram-se os mesmos fatores de uso do solo para agricultura (C=0,1415), pastagens (C=0,011) e mata nativa (C=0,003), tais como

no cálculo para 1996. No entanto, como não há dados sobre a existência ou não de práticas conservacionistas para agricultura na bacia do Taquarizinho na década de 60, utilizou-se um valor intermediário de P entre 0,2 (com práticas para conservação do solo) e 1 (sem conservação do solo), equivalente a média aritmética: P=0,6. O valor calculado para perda de solo total na bacia foi de 252.757,78 toneladas de solo em 1966.

Considerando a área total da bacia, a perda de solo média foi de  $\bar{A} = 5,11$  toneladas por hectare. Portanto, utilizando-se da equação (24), estima-se o valor de J4 a partir da perda de solo média  $\bar{A}$  e mantendo-se fixo o fator  $k_w$ :

$$J4 = k_w A = 7770,16 \frac{m^3 ha}{ton d} \cdot 5,11 \frac{ton}{ha} = 3,97 E4 \frac{m^3}{d}$$

Prova-se aqui a hipótese de que o escoamento superficial pode ser estimado a partir de  $\bar{A}$  e  $k_w$ , pois para uma mesma pluviosidade  $J2 = 1,91 E6 m^3 d^{-1}$ , a fração entre *runoff* e pluviosidade será:

$$Fração runoff / pluviosidade = \frac{3,97 E4}{1,91 E6} = 0,021 = 2,1\%$$

Observa-se, portanto, que a relação entre o *runoff* e a pluviosidade gera o valor de 2,1%, que é um valor muito próximo da estimativa de 2,0% em 1966 descrita por Barsanti et al. (2003) para as condições bacia do Taquarizinho naquela situação.

Tabela 4. Fatores da equação USLE baseado em Bacchi (2007) adequados para mapeamento de 1966 (Embrapa CNPTIA, 2011).

Sub-bacia	Uso	Área (km <sup>2</sup> )	R	K	C	P	L.S	A (ton/ha/ano)	Perda(ton/ano)	% Perda
1e	pastagem	12,47	7030	0,016	0,011	1	0,49	0,6062672	756,0151984	0,156%
1d	pastagem	6,73	7030	0,016	0,011	1	0,42	0,5196576	349,7295648	0,072%
2e	pastagem	8,63	7030	0,016	0,011	1	2,57	3,1798096	2744,175685	0,565%
2d	pastagem	2,67	7030	0,016	0,011	1	2,72	3,3654016	898,5622272	0,185%
3e	nativa	6,54	7030	0,016	0,003	1	3,87	1,3058928	854,0538912	0,176%
3d	nativa	1,08	7030	0,016	0,003	1	1,84	0,6208896	67,0560768	0,014%
4e	pastagem	15,08	7030	0,016	0,011	1	0,91	1,1259248	1697,894598	0,350%
4d	pastagem	8,85	7030	0,016	0,011	1	1,05	1,299144	1149,74244	0,237%
5e	pastagem	8,84	7030	0,016	0,011	1	1,04	1,2867712	1137,505741	0,234%
5d	pastagem	8,72	7030	0,016	0,011	1	2,69	3,3282832	2902,26295	0,597%
6e	nativa	12,45	7030	0,016	0,003	1	2,2	0,742368	924,24816	0,190%
6d	pastagem	3,55	7030	0,016	0,011	1	1,35	1,670328	592,96644	0,122%
7e	pastagem	3,31	7030	0,016	0,011	1	2,59	3,2045552	1060,707771	0,218%
7d	nativa	3,63	7030	0,016	0,003	1	2,34	0,7896096	286,6282848	0,059%
8e	nativa	7,65	7030	0,005	0,003	1	10,15	1,0703175	818,7928875	0,169%
8d	nativa	2,4	7030	0,016	0,003	1	4,5	1,51848	364,4352	0,075%
9e	nativa	5,96	7030	0,005	0,003	1	16,83	1,7747235	1057,735206	0,218%
9d	nativa	1,95	7030	0,005	0,003	1	5,75	0,6063375	118,2358125	0,024%
10e	nativa	4,92	7030	0,045	0,003	1	2,19	2,0784195	1022,582394	0,211%
10d	nativa	1,54	7030	0,045	0,003	1	3,87	3,6728235	565,614819	0,116%
11e	nativa	5,42	7030	0,045	0,003	1	5,88	5,580414	3024,584388	0,623%
11d	nativa	6,09	7030	0,045	0,003	1	2,45	2,3251725	1416,030053	0,292%
12e	nativa	9,66	7030	0,045	0,003	1	4,38	4,156839	4015,506474	0,827%
12d	nativa	4,92	7030	0,005	0,003	1	2,85	0,3005325	147,86199	0,030%
13e	nativa	11,19	7030	0,045	0,003	1	6,32	5,997996	6711,757524	1,382%
13d	nativa	9,79	7030	0,005	0,003	1	6,62	0,698079	683,419341	0,141%
14e	nativa	3,28	7030	0,045	0,003	1	3,18	3,017979	989,897112	0,204%
14d	nativa	7,81	7030	0,005	0,003	1	8,38	0,883671	690,147051	0,142%
15e	nativa	4,61	7030	0,045	0,003	1	6,83	6,4820115	2988,207302	0,615%
15d	nativa	6,26	7030	0,045	0,003	1	4,32	4,099896	2566,534896	0,528%
16e	nativa	18,45	7030	0,045	0,003	1	8,78	8,332659	15373,75586	3,165%
16d	nativa	27,01	7030	0,045	0,003	1	4,03	3,8246715	10330,43772	2,127%
17e	nativa	20,37	7030	0,045	0,003	1	11,26	10,686303	21767,99921	4,481%

Tabela 4. Continuação. Fatores da equação USLE baseado em Bacchi (2007) adequados para mapa de 1966 (EMBRAPA CNPTIA, 2011).

Sub-bacia	Uso	Área (km <sup>2</sup> )	R	K	C	P	L.S	A (ton/ha/ano)	Perda(ton/ano)	% Perda
17d	nativa	13,64	7030	0,045	0,003	1	0,58	0,550449	750,812436	0,155%
18e	nativa	6,52	7030	0,045	0,003	1	0,87	0,8256735	538,339122	0,111%
18d	nativa	5,6	7030	0,045	0,003	1	4,21	3,9955005	2237,48028	0,461%
19e	nativa	5,19	7030	0,005	0,003	1	8	0,8436	437,8284	0,090%
19d	nativa	4,92	7030	0,005	0,003	1	8,2	0,86469	425,42748	0,088%
20e	nativa	13,93	7030	0,045	0,003	1	3,37	3,1982985	4455,229811	0,917%
20d	nativa	15,69	7030	0,045	0,003	1	11,26	10,686303	16766,80941	3,452%
21e	nativa	10,96	7030	0,045	0,003	1	9,23	8,7597315	9600,665724	1,976%
21d	nativa	2,06	7030	0,045	0,003	1	1,26	1,195803	246,335418	0,051%
22e	nativa	4,42	7030	0,045	0,003	1	1,78	1,689309	746,674578	0,154%
22d	nativa	5,38	7030	0,045	0,003	1	4,95	4,6977975	2527,415055	0,520%
23e	nativa	1,6	7030	0,045	0,003	1	1,9	1,803195	288,5112	0,059%
23d	nativa	1,85	7030	0,045	0,003	1	3,88	3,682314	681,22809	0,140%
24e	nativa	14,66	7030	0,045	0,003	1	3,47	3,2932035	4827,836331	0,994%
24d	nativa	12,58	7030	0,045	0,003	1	5,15	4,8876075	6148,610235	1,266%
25e	nativa	15,04	7030	0,005	0,003	1	7,04	0,742368	1116,521472	0,230%
25d	nativa	7,39	7030	0,045	0,003	1	4,23	4,0144815	2966,701829	0,611%
26e	nativa	12,54	7030	0,045	0,003	1	8,53	8,0953965	10151,62721	2,090%
26d	nativa	2,25	7030	0,005	0,003	1	4,16	0,438672	98,7012	0,020%
27e	nativa	3,02	7030	0,016	0,003	1	5,4	1,822176	550,297152	0,113%
27d	nativa	5,05	7030	0,016	0,003	1	3,08	1,0393152	524,854176	0,108%
28e	nativa	5,36	7030	0,005	0,003	1	4,3	0,453435	243,04116	0,050%
28d	nativa	1,88	7030	0,005	0,003	1	2,72	0,286824	53,922912	0,011%
29e	nativa	3,06	7030	0,005	0,003	1	4,67	0,4924515	150,690159	0,031%
29d	nativa	2,04	7030	0,005	0,003	1	3,26	0,343767	70,128468	0,014%
30e	nativa	2,77	7030	0,045	0,003	1	2,84	2,695302	746,598654	0,154%
30d	nativa	6,14	7030	0,045	0,003	1	2,71	2,5719255	1579,162257	0,325%
31e	agricultura	9,14	7030	0,032	0,1415	0,6	4,93	94,15858272	86060,94461	17,717%
31d	nativa	6,22	7030	0,032	0,003	1	1,79	1,2080352	751,3978944	0,155%
32e	nativa	15,95	7030	0,032	0,003	1	3,88	2,6185344	4176,562368	0,860%
32d	nativa	9,98	7030	0,032	0,003	1	3,98	2,6860224	2680,650355	0,552%
33e	nativa	0,36	7030	0,005	0,003	1	2,16	0,227772	8,199792	0,002%
33d	nativa	5,76	7030	0,005	0,003	1	1,21	0,1275945	73,494432	0,015%
<b>Total</b>		<b>494,78</b>						<b>5,11</b>	<b>252.757,78</b>	<b>100%</b>

#### 4.8 Resultados do modelo hidrológico 1995-1996

Após a etapa de calibração e validação do modelo hidrológico, torna-se possível mostrar os demais valores de fluxos diários gerados pelo modelo calibrado para a bacia do Taquarizinho, considerando-se os anos de 1995 e 1996. Observa-se no gráfico abaixo como é a variação diária da pluviosidade (J2) ao longo dos dois anos de simulação e os respectivos valores de *runoff* (J4) e infiltração de água no solo (J7) gerados pelo modelo. Os valores de fluxo estão representados em  $\text{m}^3\text{d}^{-1}$ . É possível notar a sincronia e o mesmo perfil das curvas respectivas aos eventos J2, J4 e J7, pois o escoamento superficial e a infiltração de água no solo são eventos que ocorrem imediatamente após o evento da chuva.

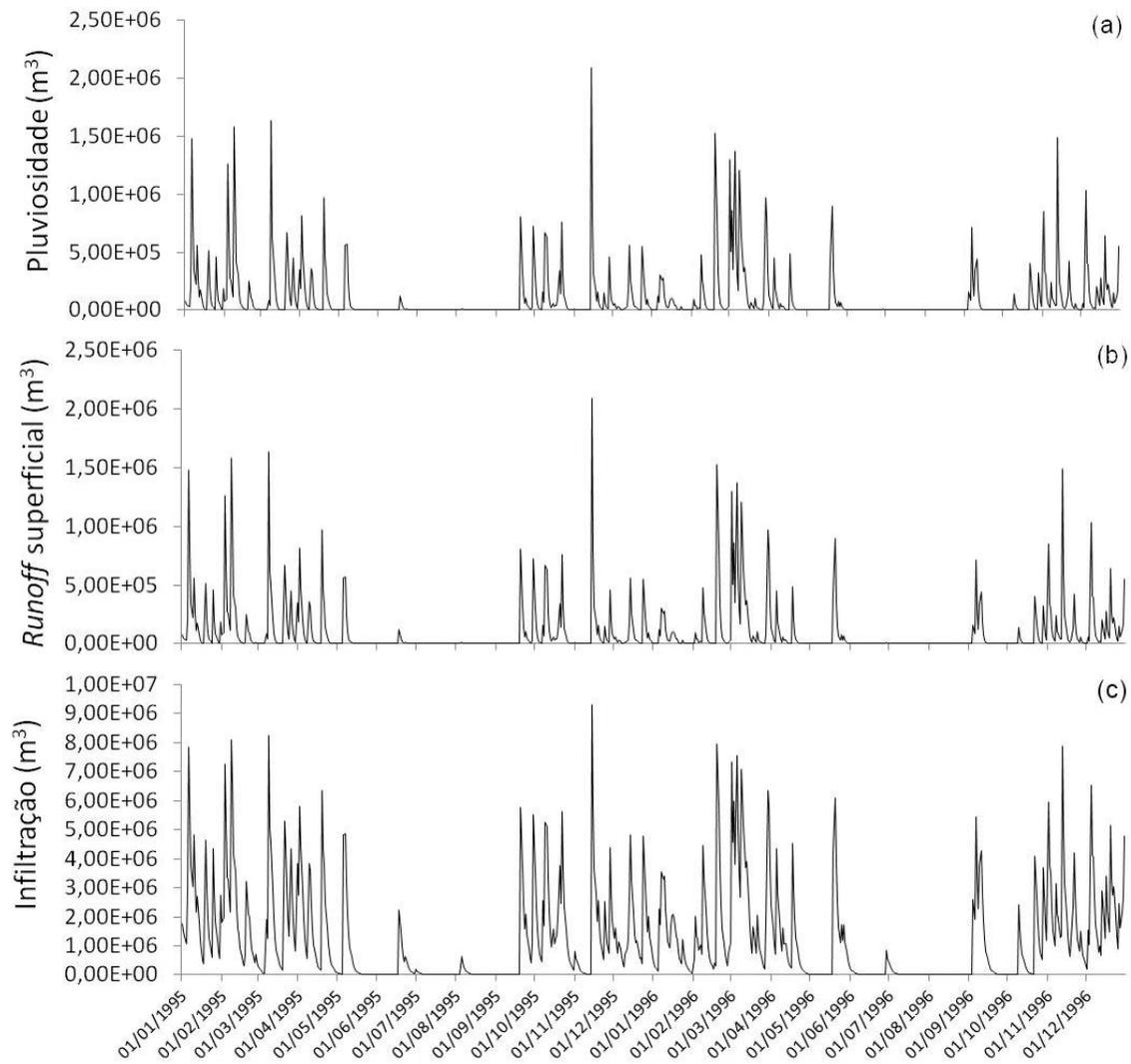


Gráfico 6. Simulação dos fluxos diários ( $\text{m}^3\text{d}^{-1}$ ) de *runoff* (b) e infiltração de água (c) no solo considerando o fluxo de chuva (a) dos anos de 1995-1996.

No Gráfico 7 são mostrados os valores dos fluxos de evapotranspiração (J8+J9+J13), percolação de água para o aquífero superficial (J11), recarga para aquífero profundo (J15) e vazão de água no canal (J18+J19). Observando-os, nota-se a mesma coincidência de picos no período de outubro a março e mínimos entre abril e setembro, o que mostra a sincronia dos eventos com a pluviosidade. O perfil da curva de evapotranspiração e de percolação se assemelham com o de umidade do solo, pois USM é a principal variável das equações que determina o padrão de oscilação de suas curvas. A curva de recarga de aquífero (gráfico c) mostra que entre os anos 1995-96 o modelo gera um decréscimo no fluxo de água recarga do aquífero (J15), acompanhando a tendência da diminuição temporária no estoque de água SA (ver Gráfico 3):

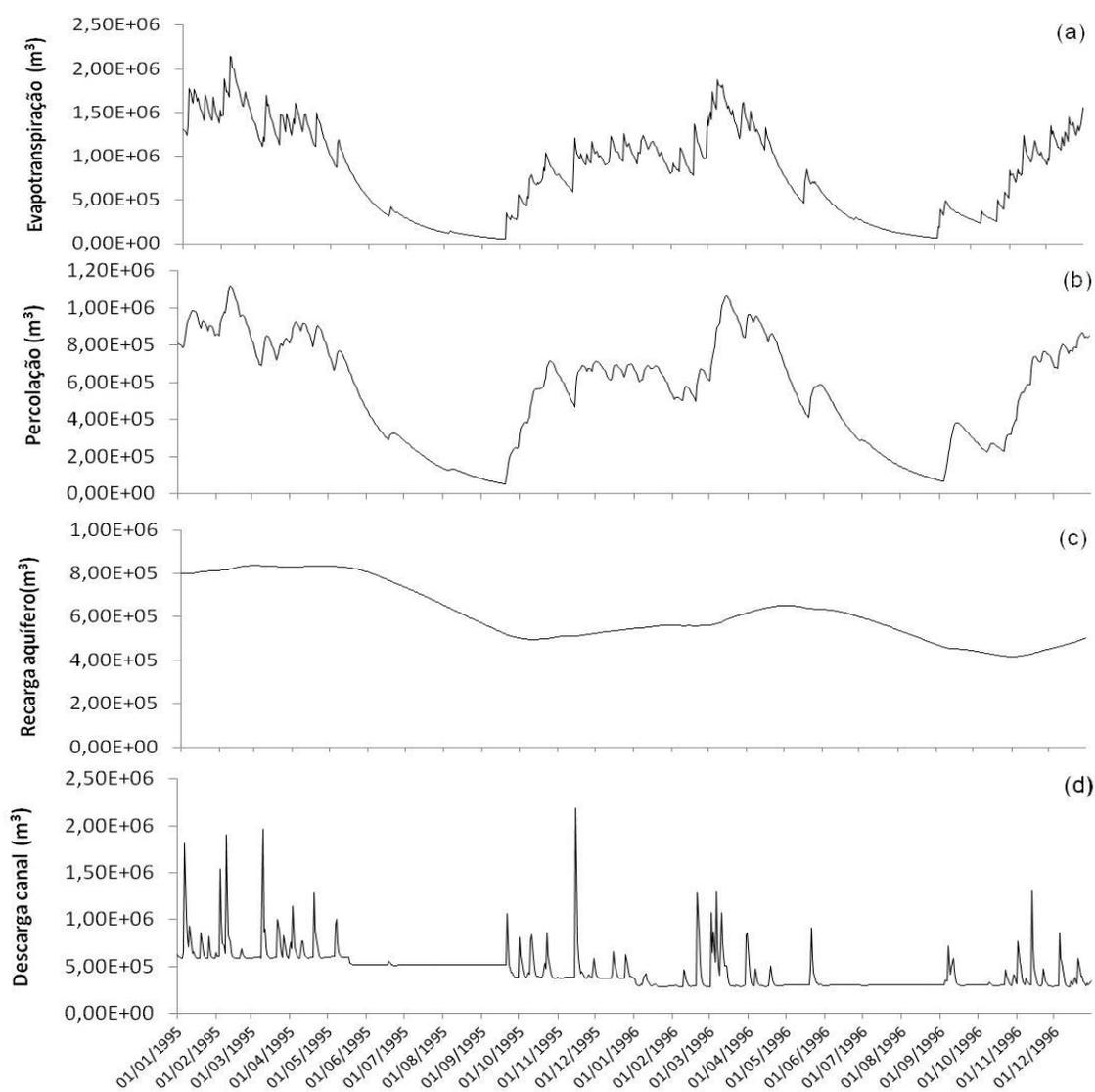


Gráfico 7. Simulação dos fluxos diários ( $\text{m}^3 \text{d}^{-1}$ ) de evapotranspiração (a), percolação para aquífero superficial (b), recarga de aquífero (c) e vazão no canal (d) relativo a janeiro 1995 a dezembro 1996.

Outros fluxos de menor magnitude gerados pelo modelo estão representados no Gráfico 8, relativos a ascensão capilar de água do solo para o estoque superficial (J5), ascensão da água do aquífero superficial para o solo (J10) e a troca existente entre os canais e o aquífero superficial (J16).

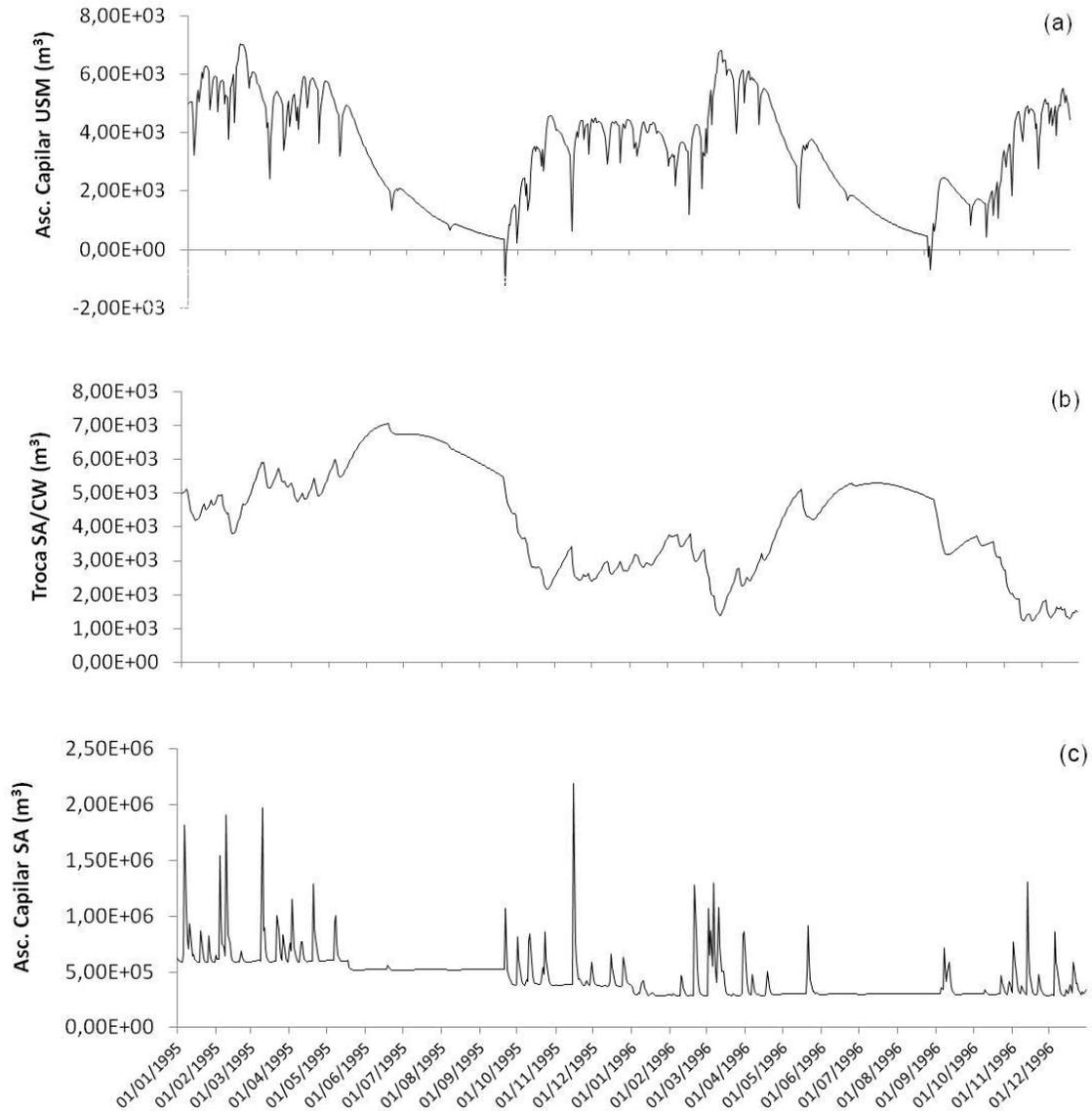


Gráfico 8. Simulação dos fluxos de ascensão capilar entre solo e retenção superficial (a), troca entre canais e aquífero superficial (b), e ascensão capilar entre aquífero superficial e solo (c).

Observa-se que no período em que o solo está mais úmido, existe um maior fluxo de USM para SD (Gráfico 8, linha "a"), e o perfil da curva é semelhante a curva de USM, devido à equação que define J5. Este comportamento é esperado pois, imediatamente

após a chuva, há um rápido incremento no estoque USM e uma redução natural de SD devido ao rápido fluxo para os canais e infiltração no solo. Por outro lado, os maiores fluxos de água de SA para USM (linha "c") ocorrem nos períodos de início da época seca, pois o estoque SA ainda é alto e USM começa a se reduzir mais rapidamente, criando um gradiente que favorece o fluxo de água da zona mais úmida para a mais seca. Em relação ao gráfico "b" anterior, os valores positivos representam os fluxos de SA para os canais, e vice-versa. Como esperado, observam-se oscilações de maior magnitude em dias com alta pluviosidade, predominando o fluxo de SA para os canais nos períodos de seca, devido aos gradientes originados da diminuição volume de água nos canais (CW) e da permanência de água no aquífero superficial.

Por fim, o Gráfico 9 mostra o resultado da simulação para a dinâmica dos estoques de água na bacia ao longo dos dois anos: água detida na superfície (SD), contida na umidade do solo (USM), estocada no aquífero superficial (SA) e dentro dos canais (CW) da bacia do Taquarizinho. O gráfico para estoque de biomassa (BU) será apenas mostrado no modelo hidro-carbono, quando serão explicadas as demais variáveis que determinam sua dinâmica temporal.

De acordo com o Gráfico 9 (linha "a"), o estoque de água retido superficialmente (SD) apresenta picos pronunciados e rápida redução em seu valor, pois toda água da chuva que atinge a superfície da bacia tem como destino a infiltração ou o escoamento superficial, permanecendo, relativamente, por muito pouco tempo no SD. Desta maneira, existem aumentos e reduções abruptas em sua magnitude, e o SD segue o perfil do gráfico de pluviosidade.

A curva simulada de água na umidade do solo (linha "b") apresenta variações menos abruptas ao longo dos dias, se comparada a do estoque SD. Observa-se um comportamento geral no qual os máximos valores de USM ocorrem até o encerramento do período das chuvas (dias 31/03/1995 e 30/03/1996), quando o estoque é recarregado. Após esse período, USM tem seu valor reduzido gradativamente durante a estação seca (entre os dias 31/03/1995 a 30/09/1995) com os mínimos valores – próximos a 10 mm de água armazenada – ocorrendo nos meses de setembro de 1995 e agosto de 1996.

Quanto à simulação do estoque de água no aquífero superficial (linha "c"), observa-se que o SA apresenta elevação durante os três primeiros meses rodados no modelo, sendo que após março de 1995 o estoque começa sofrer redução, atingindo valor

mínimo no final da estação seca, que vai até setembro. Com o retorno do período de chuvas, observa-se o incremento no estoque SA, que ocorre por um intervalo de seis meses. Após este período, o ciclo de esvaziamento do mesmo começa novamente por conta da ausência de chuvas para recarga.

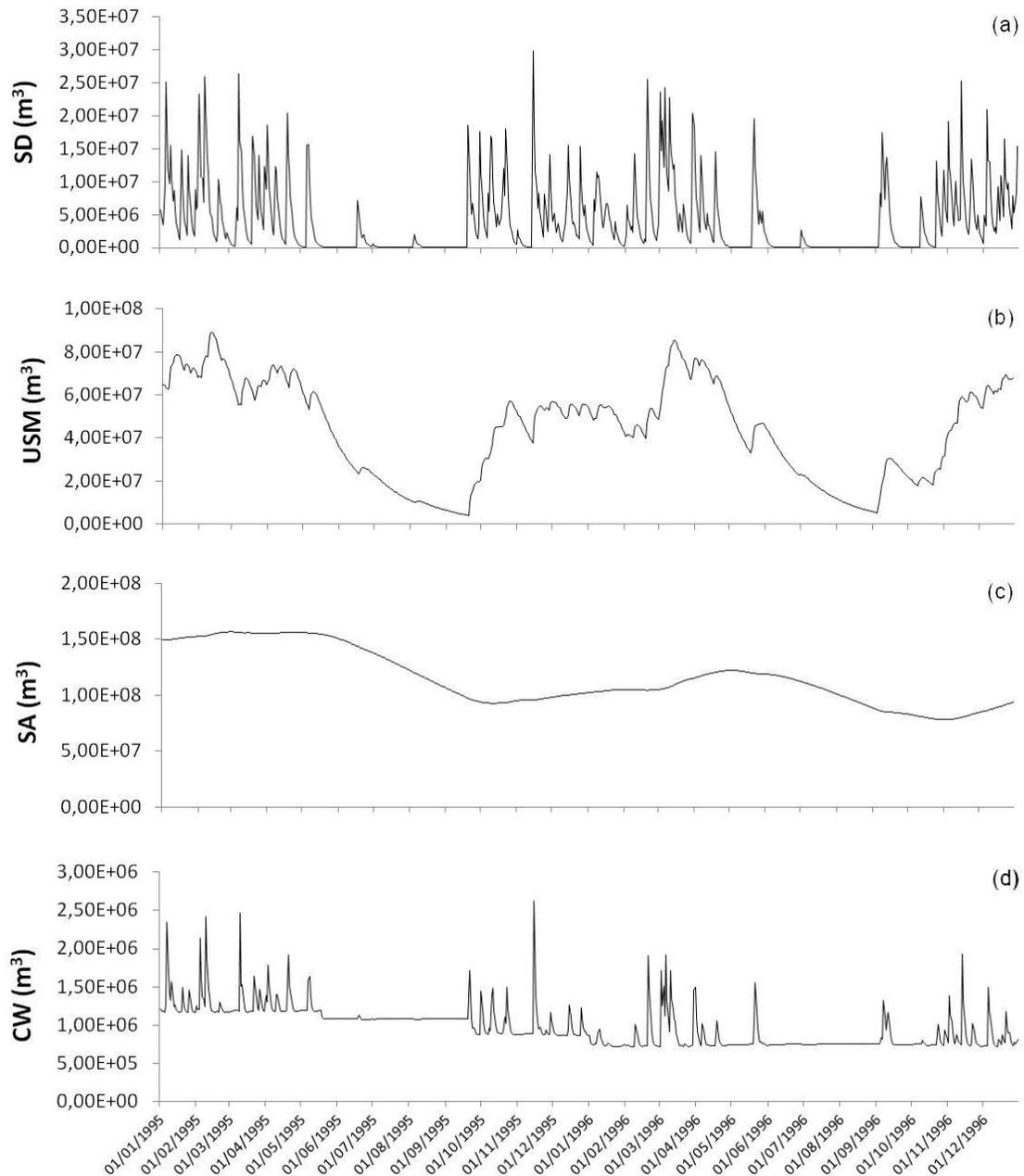


Gráfico 9. Valores simulados para os estoques de (a) água detida na superfície, (b) na umidade do solo, (c) no aquífero superficial, e (d) nos canais da bacia do Taquarizinho.

Em relação ao estoque de água nos canais, observa-se que CW segue o padrão de curva do estoque SD e da pluviosidade, com a maior parte dos picos concentrados no período de chuvas. No entanto, o valor de CW nunca atinge valores próximos a zero devido a presença do fluxo vindo do escoamento de base (CF+GW), que alimenta os canais da bacia nos períodos de seca via água subterrânea. As linhas horizontais do Gráfico 9d equivalem ao período de seca, onde o fluxo de base apresentou registros variáveis de acordo com os valores de vazão disponibilizados no portal SNIRH (ANA, 2011): aproximadamente  $7 \text{ m}^3\text{s}^{-1}$  entre os dias 1/01/95 e 14/05/95,  $6 \text{ m}^3\text{s}^{-1}$  entre os dias 15/05/95 a 20/09/95, e finalmente,  $4,5 \text{ m}^3\text{s}^{-1}$  entre os dias 21/09/95 e 31/12/96.

#### 4.9 Dinâmica emergética do modelo hidrológico

Após a análise dos resultados dos fluxos e estoques gerados pelo modelo, é possível dar início aos cálculos referentes aos valores de energia dos fluxos diários, os quais servirão de base para a etapa de valoração emergética dos serviços ecossistêmicos vinculados ao fluxo hidrológico. Considerar-se-ão como principais serviços ecossistêmicos gerados pela bacia a evapotranspiração (J8+J9+J13), a descarga de água pelo canal (J18+J19) e a recarga do aquífero (J15), pois são os fluxos que representam as saídas de dentro do volume de controle da bacia hidrográfica para atmosfera, bacia vizinha e aquífero do entorno, respectivamente. Na Figura 6 é possível observar que esses três fluxos de saída devem-se aos *inputs* principais da natureza: energia solar, chuva e entrada de água pelo escoamento de base.

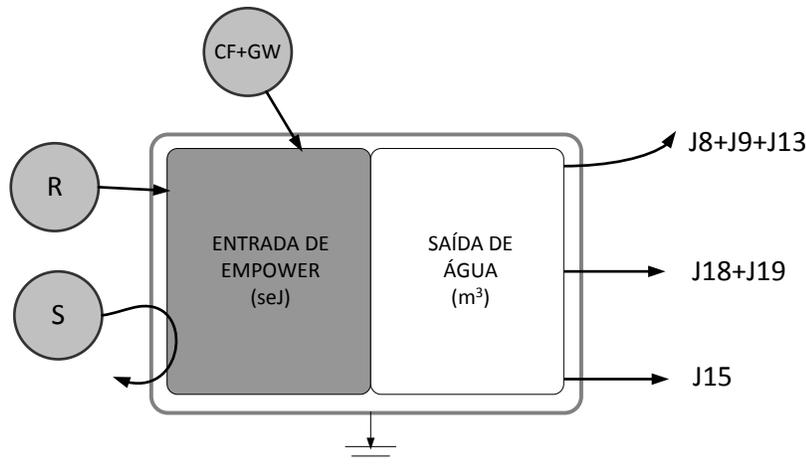


Figura 6. Representação das entradas de energia (S:sol, R: chuva, CF+GW:escoamento de base) e saídas de água na bacia: evapotranspiração (J8+J9+J13), a descarga de água pelo canal (J18+J19) e a recarga do aquífero (J15)

O cálculo do valor de energia por volume de água ( $\text{sej m}^{-3}$ ), que calcula a razão entre energia total que entra na bacia (“*Empower input*”) pela vazão obtida para cada um dos fluxos hidrológicos, é importante porque torna possível estimar o valor monetário equivalente (EM\$  $\text{m}^{-3}$ ) de cada um dos três serviços ecossistêmicos aqui apresentados. A equação abaixo mostra como podem ser calculados os índices de energia por volume, aqui denominados “*V*” considerando-os como co-produtos do sistema:

$$V_{\text{evapotranspiração}} = \frac{\text{Empower diário (sej.d}^{-1}\text{)}}{J8 + J9 + J13(\text{m}^3.\text{d}^{-1})} = \text{sej.m}^{-3} \quad (25)$$

$$V_{\text{descarga}} = \frac{\text{Empower diário (sej.d}^{-1}\text{)}}{J18 + J19(\text{m}^3.\text{d}^{-1})} = \text{sej.m}^{-3} \quad (26)$$

$$V_{\text{recarga}} = \frac{\text{Empower diário (sej.d}^{-1}\text{)}}{J15(\text{m}^3.\text{d}^{-1})} = \text{sej.m}^{-3} \quad (27)$$

O valor do Empower input diário na bacia é calculado convertendo-se os valores de entrada S, R e CF+GW em uma base comum, o joule equivalente de energia solar (sej). O valor de insolação médio (S) na região da bacia do Taquarizinho é de 5,07 kWh  $\text{m}^{-2}\text{d}^{-1}$  e o albedo é de 15 % (NASA, 2011). Multiplicando a insolação pelo albedo e pela conversão de kWh para joules (3,6 E6 J para cada kWh), a entrada de energia solar média é de 1,83 E7 J  $\text{m}^{-2} \text{d}^{-1}$ . No entanto, o modelo é dinâmico e a variação diária da entrada de energia solar obedece uma equação senoidal, análoga a de JR, onde o valor médio apresenta uma variação máxima de 25% em sua amplitude, tanto para mais quanto para menos. O mínimo valor foi ajustado para coincidir com o meio do inverno (aproximadamente 4 de agosto) e o máximo para o meio do verão (aproximadamente 3 de fevereiro). Para o dia 1º de janeiro de 1995, o valor de insolação foi 1,88 E7 J  $\text{m}^{-2} \text{d}^{-1}$ . Multiplicado pela área de toda a bacia do Taquarizinho, a entrada total pela energia solar foi de 9,36 E15 Joules naquele dia. Considerando que a cada Joule diz respeito a um equivalente de energia solar (ODUM, 1996), o fluxo total de energia solar no dia 1/1/1995 foi de S=9,36 E15  $\text{sej.d}^{-1}$  (Tabela 5).

No mesmo dia, o input de água pela pluviosidade (R) foi equivalente ao valor do fluxo J2=9,97 E5  $\text{m}^3\text{d}^{-1}$ , devido a lâmina de 2 mm de chuva. O valor de energia da água deve-se ao seu potencial de solubilizar sais nos sistemas naturais, cujo potencial é

vinculado ao valor da energia livre de Gibbs<sup>7</sup> de 4949 J/kg de água (ODUM, 1996). Considerando a densidade da água de 1000 kilogramas por metro cúbico de água, e multiplicando o fluxo de energia pela transformidade da água da chuva (15000 sej por joule), é possível calcular o valor emergético (sej) da chuva, conforme a Tabela 4. De maneira análoga, calcula-se o valor para o escoamento de base, baseando-se no fluxo de 6,05 E5 m<sup>3</sup>d<sup>-1</sup> do dia 1/01/1995, e convertendo-se o fluxo de energia para emergia utilizando o fator de 40.000 sej J<sup>-1</sup>.

Tabela 5. Cálculo do empower input na bacia do Taquarizinho no dia 1/01/1995.

Nota	Fluxo	Fluxo diário (un.)	Energia (J)	Transformidade <sup>1</sup> (sej.J <sup>-1</sup> )	Emergia (sej.d <sup>-1</sup> )
S	Sol	9,36 E15 J	9,36 E15	1	9,36 E15
R	Chuva	9,97 E5 m <sup>3</sup>	4,93 E12	15000	7,40 E16
CF+GW	Escoamento de base	6,05 E5 m <sup>3</sup>	2,99 E12	40000	11,97 E16
<b>Empower input</b>					<b>20,31 E16</b>

<sup>1</sup> Transformidades dos fluxos de água de acordo com Odum (1996).

Utilizando-se do modelo elaborado, é possível calcular, dia após dia, (desde 01 de janeiro de 1995 a 31 de dezembro de 1996), os valores diários da entrada de emergia na bacia do Taquarizinho, conforme o Gráfico 10. Observam-se os picos de Empower coincidentes com aqueles observados para a chuva. Nos períodos de seca, a entrada não é zero e chega a um mínimo da ordem de 6,00 E16 sej.d<sup>-1</sup>, devido à entrada de emergia por escoamento de base (CF) e insolação (S) na bacia.

<sup>7</sup> A energia livre de Gibbs da água doce reflete o seu potencial químico em realizar trabalho de dissolução de sais. Na metodologia descrita por Odum (1996), esse potencial refere-se a diferença entre a energia livre de Gibbs da água doce em relação à água do mar.

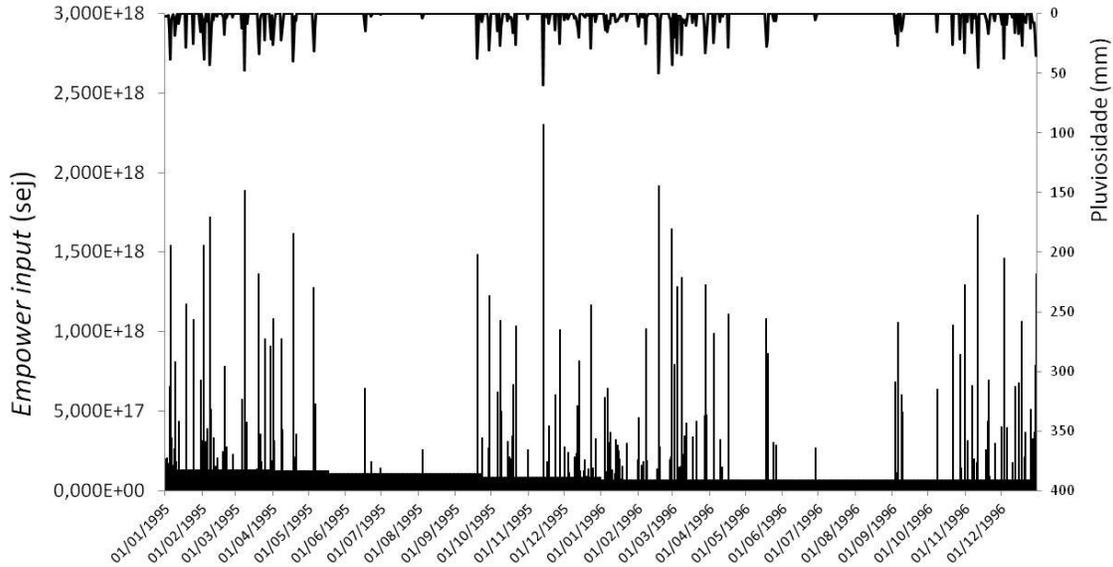


Gráfico 10. Dinâmica emergética do empower input diário na bacia do Taquarizinho de 1995-1996.

O cálculo do valor da energia por volume de água ( $\text{sej m}^{-3}$ ) pode ser calculado para um determinado fluxo dividindo-se o *Empower input* ( $\text{sej}$ ) pela saída de fluxos de água ( $\text{m}^3$ ). No entanto, como não é possível rastrear a qual a fração do Empower Input que vai para cada um dos fluxos de saída (evapotranspiração, descarga pelo canal e recarga do aquífero), realizar-se-á o cálculo de três maneiras distintas. As duas primeiras abordagens são as mais comuns na avaliação emergética: o método de co-produtos e o método *split*. Por fim, testar-se-á uma nova abordagem neste trabalho, a *equal energy*.

#### 4.9.1 Energia por volume considerando o método de co-produtos

Seguindo a abordagem de co-produtos, admite-se que todo o valor de energia que entra no sistema foi totalmente alocado nos três fluxos de saída (TILLEY E BROWN, 2006; BUENFIL, 2001), desta maneira, teríamos, de acordo com as equações 25, 26 e 27 para o dia 1/01/1995:

$$V_{\text{evapotranspiração}} = \frac{\text{Empower diário} (\text{sej} \cdot \text{d}^{-1})}{J8 + J9 + J13 (\text{m}^3 \cdot \text{d}^{-1})} = \frac{20,31 E16 (\text{sej} \cdot \text{d}^{-1})}{1,31 E6 (\text{m}^3 \cdot \text{d}^{-1})} = 1,55 E11 \frac{\text{sej}}{\text{m}^3}$$

$$V_{\text{descarga canal}} = \frac{\text{Empower diário} (\text{sej} \cdot \text{d}^{-1})}{J18 + J19 (\text{m}^3 \cdot \text{d}^{-1})} = \frac{20,31 E16 (\text{sej} \cdot \text{d}^{-1})}{6,23 E5 (\text{m}^3 \cdot \text{d}^{-1})} = 3,26 E11 \frac{\text{sej}}{\text{m}^3}$$

$$V_{\text{recarga aquífero}} = \frac{\text{Empower diário} (\text{sej} \cdot \text{d}^{-1})}{J15 (\text{m}^3 \cdot \text{d}^{-1})} = \frac{20,31 E16 (\text{sej} \cdot \text{d}^{-1})}{8,00 E5 (\text{m}^3 \cdot \text{d}^{-1})} = 2,54 E11 \frac{\text{sej}}{\text{m}^3}$$

A implicação desta abordagem é que não há conservação de energia, pois o valor total de energia das entradas ( $20,31 \text{ E}16 \text{ seJ.d}^{-1}$ ) está incorporado integralmente nos três fluxos de saída. Desta maneira, a energia que sai, neste caso, é três vezes maior que a energia que entra, como mostrado na figura a seguir. Considerando que o termo energia faz jus ao termo “memória energética”<sup>8</sup> para a obtenção de cada fluxo, admite-se nessa abordagem de co-produtos que toda a energia de entrada foi, de maneira direta ou indireta, necessária para gerar cada um dos fluxos de saída na bacia hidrográfica, não sendo o balanço de entradas e saídas uma prioridade.

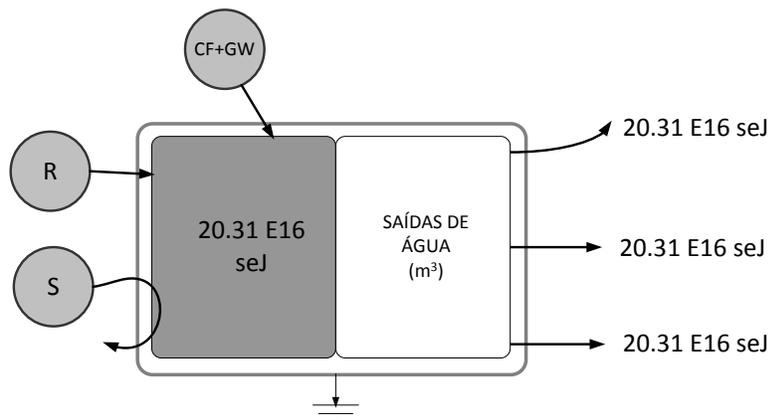


Figura 7a. Ilustração da ausência de balanço de energia na abordagem de co-produtos .

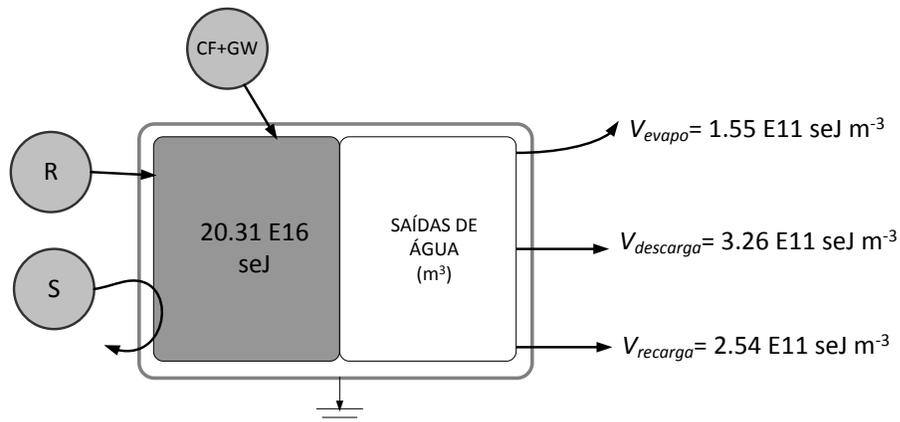


Figura 7b. Ilustração dos valores de energia por volume na abordagem de co-produtos.

A partir da abordagem *co-produtos*, o fluxo diário de menor valor – neste caso a descarga pelo canal – apresentará o maior valor de energia por volume ( $\text{seJ m}^{-3}$ ), o que significa atribuir uma maior “qualidade” a tal fluxo, ou ainda, sugerir que a memória de

<sup>8</sup> Em inglês, o termo *emergy* faz alusão aos termos “energy” + “memory”, pois se refere às diferentes formas de energia utilizadas no passado para produzir um determinado fluxo de massa ou energia. Esse olhar foi construído conjuntamente pelo professor Howard T. Odum e David M. Scienceman (Scienceman, 1987).

esforço do agroecossistema da bacia do Taquarizinho foi maior na produção de descarga pelo canal no dia 01/01/1995, se comparado aos esforços para produzir os demais fluxos de evapotranspiração e recarga de aquífero, mais abundantes naquele dia.

Utilizando-se do modelo hidrológico e dos cálculos dia após dia das entradas de energia na bacia do Taquarizinho, torna-se possível visualizar a dinâmica dos valores de energia por volume desde janeiro de 1995 a dezembro de 1996. Observa-se no Gráfico 11 como se dá variação da energia por volume de água ao longo dos 730 dias simulados. Apesar da média observada para evapotranspiração ser  $4,3 \text{ E11 sej m}^{-3}$ , no dia 19/09/1995 há um pulso de  $2,8 \text{ E13 sej m}^{-3}$ , o que equivale a um valor 50 vezes maior em relação à média. Este pico ocorre de maneira pronunciada devido a uma chuva de quase 40 mm após muitos dias sem chuva, no término da estação seca, quando o fluxo de evapotranspiração era muito baixo e o empower do dia foi totalmente alocado para esse fluxo. Dessa forma, a proporção entre empower e evapotranspiração no dia 19/09/95 foi muito elevada, provocando um pico no valor de energia por volume (linha preta). A água da chuva do dia 19/09/95 anterior forneceu água para evapotranspiração no dia 20/09/1995, fazendo com que a relação de energia por volume voltasse a um valor próximo da média. Um pico semelhante foi observado no dia 03/09/1996, quando uma chuva após longo período de seca elevou demasiadamente o valor de energia por volume devido ao baixo fluxo de água por evapotranspiração e o elevado empower vindo de uma pluviosidade de 17 mm.

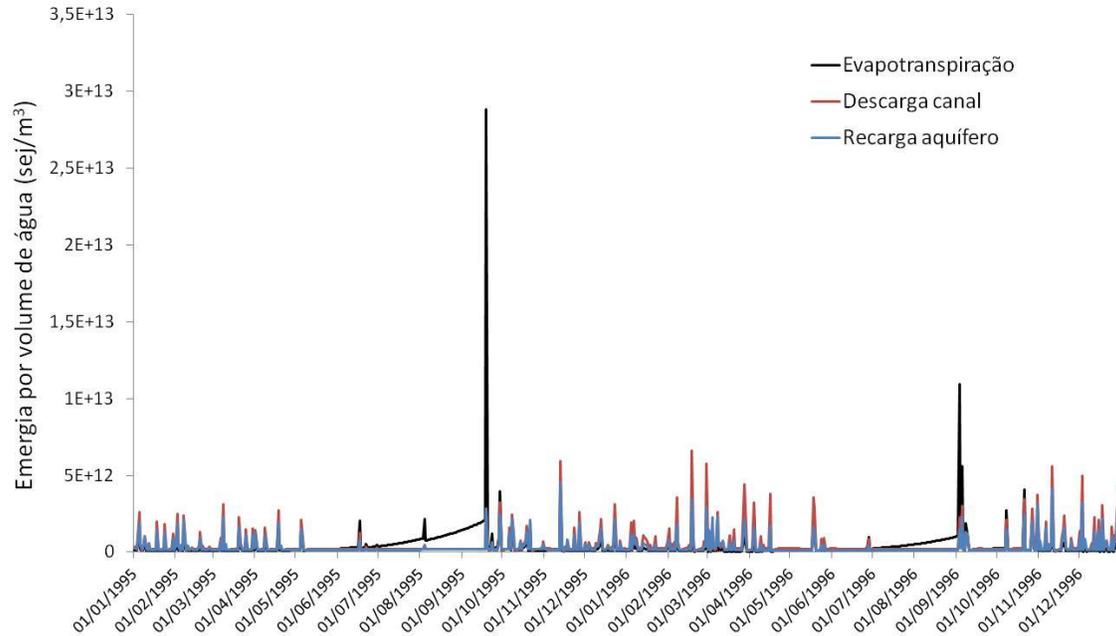


Gráfico 11. Dinâmica do valor de energia por volume ( $\text{sej m}^{-3}$ ) para evapotranspiração, descarga no canal e recarga de aquífero da Bacia do Taquarizinho com a abordagem co-produtos.

Em relação ao fluxo de descarga pelo canal mostrado no Gráfico 11 (linha vermelha), o valor médio de energia por volume de água foi  $4,62 \text{ E}11 \text{ sej m}^{-3}$ , com picos nos dias de chuva, assim como observado para recarga de água do aquífero (linha azul), cuja média foi de  $3,28 \text{ E}11 \text{ sej m}^{-3}$ . No caso destes dois últimos fluxos, não existiram picos da magnitude de  $\text{E}13$  devido à presença do fluxo de base e do estoque de água no aquífero superficial, que impedem quedas abruptas nos seus respectivos fluxos, evitando assim aumentos bruscos no valor de energia por volume após um evento de precipitação.

#### 4.9.2 Energia por volume considerando método de distribuição (*split*)

Por outro lado, o método de distribuição (*split*) é baseado na conservação de energia (TILLEY e BROWN, 2006). Ou seja, o valor do *empower input* é repartido (do termo em inglês *split*) entre os três fluxos de saída, seguindo uma relação diretamente proporcional à fração mássica. No dia 01/01/1995, por exemplo, o fluxo de evapotranspiração foi de  $1,31 \text{ E}6 \text{ m}^3$ , descarga no canal  $6,23 \text{ E}5 \text{ m}^3$ , e recarga de aquífero  $8,00 \text{ E}5 \text{ m}^3$ , equivalentes a 47,89%, 22,81%, e 29,30% do volume total somando essas três saídas, respectivamente. Desta maneira, conforme a Figura 8a, a energia de entrada é dividida respeitando-se as frações volumétricas mencionadas de maneira a

conservar a energia, pois o *empower input* é exatamente o somatório das saídas de água no sistema.

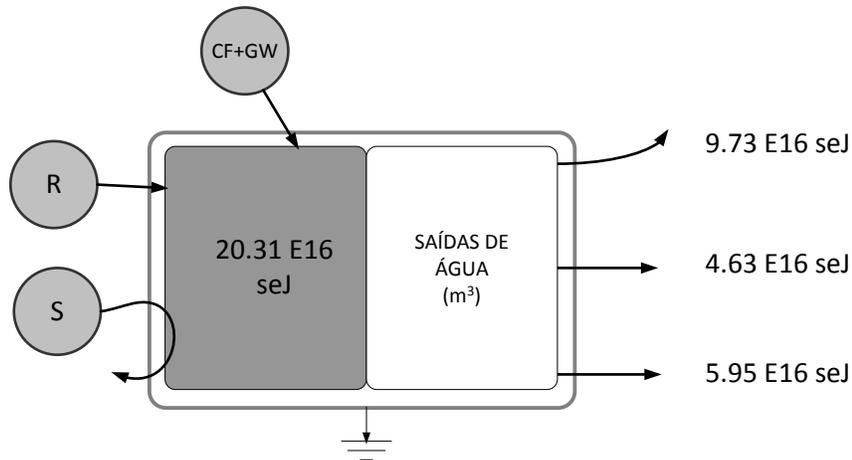


Figura 8a. Ilustração da presença de balanço de energia na abordagem *split*.

A principal implicação desta abordagem *split* é que os valores de energia por volume de água ( $\text{sej m}^{-3}$ ) serão idênticos. Conforme se observa nas equações abaixo e na Figura 8b, o resultado dos cálculos para evapotranspiração, descarga pelo canal e recarga de aquífero geram os mesmos valores:

$$V_{\text{evapotranspiração}} = \frac{\text{Empower diário} (\text{sej} \cdot \text{d}^{-1})}{J8 + J9 + J13 (\text{m}^3 \cdot \text{d}^{-1})} = \frac{9,73 \text{ E16} (\text{sej} \cdot \text{d}^{-1})}{1,31 \text{ E6} (\text{m}^3 \cdot \text{d}^{-1})} = 7,44 \text{ E11} \frac{\text{sej}}{\text{m}^3}$$

$$V_{\text{descarga canal}} = \frac{\text{Empower diário} (\text{sej} \cdot \text{d}^{-1})}{J18 + J19 (\text{m}^3 \cdot \text{d}^{-1})} = \frac{4,63 \text{ E16} (\text{sej} \cdot \text{d}^{-1})}{6,23 \text{ E5} (\text{m}^3 \cdot \text{d}^{-1})} = 7,44 \text{ E11} \frac{\text{sej}}{\text{m}^3}$$

$$V_{\text{recarga aquífero}} = \frac{\text{Empower diário} (\text{sej} \cdot \text{d}^{-1})}{J15 (\text{m}^3 \cdot \text{d}^{-1})} = \frac{5,95 \text{ E16} (\text{sej} \cdot \text{d}^{-1})}{8,00 \text{ E5} (\text{m}^3 \cdot \text{d}^{-1})} = 7,44 \text{ E11} \frac{\text{sej}}{\text{m}^3}$$

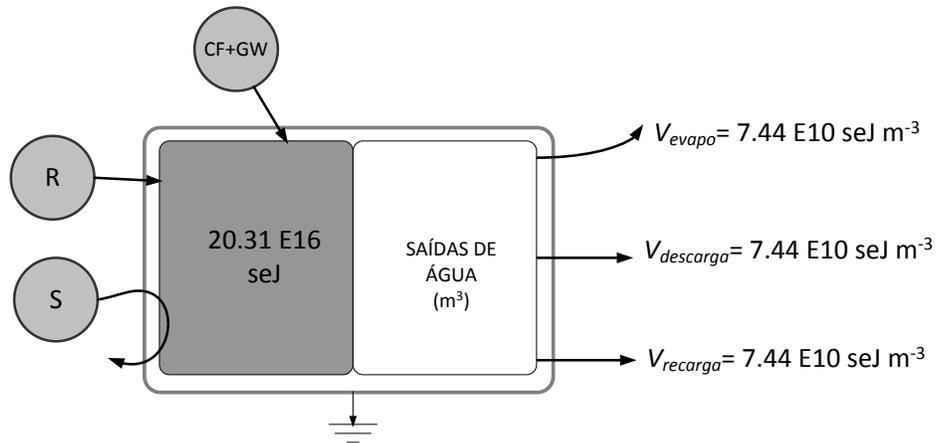


Figura 8b. Ilustração dos valores de energia por volume na abordagem split.

Dessa maneira, o método *split* faz com que todos os fluxos apresentem o mesmo valor de energia por volume, o que pode levar a interpretação pela qual evapotranspiração, descarga pelo canal e a recarga de aquífero são serviços ecossistêmicos de mesma qualidade, pois apresentam exatamente a mesma transformidade<sup>9</sup>, não havendo, portanto, diferenciação entre eles na hierarquia de energia (ODUM, 1996).

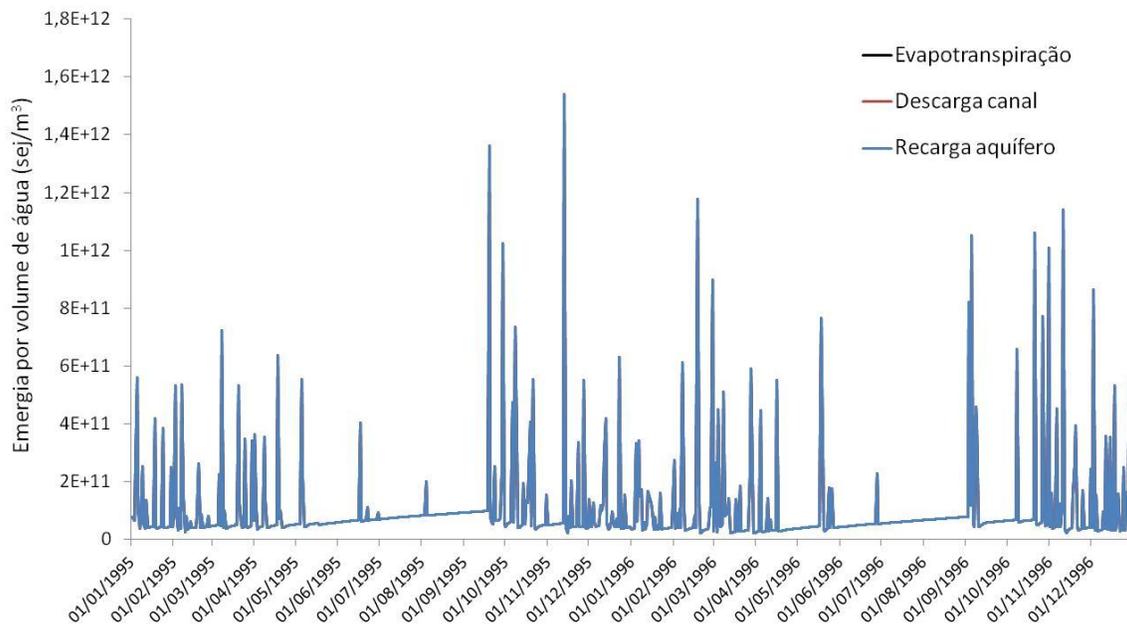


Gráfico 12. Dinâmica do valor de energia por volume ( $\text{seJ m}^{-3}$ ) para evapotranspiração, descarga no canal e recarga de aquífero da Bacia do Taquarizinho com a abordagem *split*.

<sup>9</sup> Neste caso, como todos os fluxos são de água, um mesmo valor de energia por volume ( $\text{seJ m}^{-3}$ ) significa um mesmo valor de energia por massa ( $\text{seJ g}^{-1}$ ) e mesma transformidade ( $\text{seJ J}^{-1}$ ).

O valor médio observado entre 1995-1996 para os valores de energia por volume para os três fluxos foi de  $1,07 \text{ E}11 \text{ sej m}^{-3}$ ; esse número, obviamente, é que menor todas as médias obtidas utilizando a abordagem de *co-produtos*, porque não há tripla contagem da energia. Observando o gráfico acima, a evapotranspiração não apresentou um pico extremo – como no dia 19/09/95 – porque, embora o fluxo de evapotranspiração fosse relativamente pequeno ao término do período seco, a energia atribuída a ele também foi pequena, proporcional ao seu fluxo. Portanto, o denominador e numerador foram pequenos, evitando uma razão exageradamente elevada entre energia e volume após o evento de precipitação.

#### 4.9.3 Energia por volume considerando método igualdade de energia (*equal energy*)

Na tentativa de superar as limitações das abordagens apresentadas acima para o cálculo de energia por volume, sugere-se aqui a fusão do método *co-produtos* com o método *split*, originando uma abordagem que denominaremos método de igualdade de energia (*equal energy*), através do qual haverá conservação de energia e o fluxo mais escasso será aquele com maior valor de energia por volume. Esta decisão é baseada na proposição da 6ª Lei da Termodinâmica (ODUM, 2000) que estabelece uma hierarquia para os fluxos e ciclos biogeoquímicos. De acordo com esta proposta de H.T Odum, quanto mais concentrado um determinado tipo de material em seu meio, maior a energia necessária para concentrá-lo, e portanto, maior será o seu valor de energia por massa (TILLEY, 2004). Em nosso caso, quanto maior o valor de energia por volume ( $\text{sej m}^{-3}$ ) de determinado fluxo, mais elevada será sua posição na hierarquia de energia, e por isso, pode-se dizer que maior será sua qualidade. Fazendo uma analogia à economia de mercado, considerar-se-á que o fluxo de menor abundância implica em maior “esforço” do ecossistema para gerá-lo, e portanto sua provisão é mais “cara” em termos energéticos e emergéticos. Apesar dessa semelhança qualitativa com os mecanismos de mercado, a presente valoração lida com termos quantitativos baseados em fluxos biofísicos, e não na percepção humana de benefício.

Se por um lado o método de co-produtos pode ser criticado por não ser conservativo no balanço de energia, ele gera valores de energia por volume ( $\text{EM\$ m}^{-3}$ ) maiores para os fluxos mais escassos. O método *split*, por sua vez, apesar de não diferenciar a energia por volume ( $\text{sej m}^{-3}$ ) da água de evapotranspiração, descarga e recarga, é conservativo em termos de energia. Portanto, o método *equal energy* reúne os aspectos não criticados de cada abordagem para a diferenciação da energia por

volume. Isto é possível dividindo-se o empower diário igualmente em três frações, atribuindo-as para cada um dos fluxos de evapotranspiração, descarga pelo canal e recarga do aquífero, conforme mostra a Figura 9a, por exemplo, no dia 01/01/1995, o empower input foi de 20,31 E16 sej, que foi alocado em três partes iguais de 6,77 E16 sej para os três serviços ecossistêmicos da bacia.

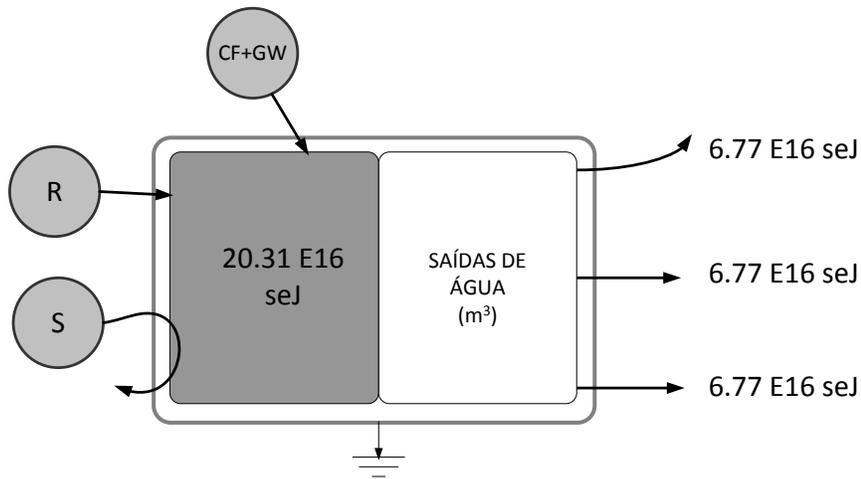


Figura 9a. Ilustração da presença de balanço de energia na abordagem equal energy.

A abordagem *equal energy* supõe que os três fluxos de saída carregam a mesma memória energética. No entanto, para que haja conservação de energia, é necessário dividir a entrada pelo número de fluxos de saída, neste caso, três, equivalentes a 6,77 E16 sej cada. Executando-se os cálculos de exemplo para o dia 01/01/1995, conforme as equações abaixo, os valores de energia por volume serão maiores para os fluxos de menor abundância, ilustrados na Figura 9b.

$$V_{\text{evapotranspiração}} = \frac{\text{Empower diário (sej.d}^{-1}\text{)}}{J8 + J9 + J13(\text{m}^3 \cdot \text{d}^{-1})} = \frac{6,77 \text{ E16 (sej.d}^{-1}\text{)}}{1,31 \text{ E6 (m}^3 \cdot \text{d}^{-1}\text{)}} = 5,18 \text{ E10} \frac{\text{sej}}{\text{m}^3}$$

$$V_{\text{descarga canal}} = \frac{\text{Empower diário (sej.d}^{-1}\text{)}}{J18 + J19(\text{m}^3 \cdot \text{d}^{-1})} = \frac{6,77 \text{ E16 (sej.d}^{-1}\text{)}}{6,23 \text{ E5 (m}^3 \cdot \text{d}^{-1}\text{)}} = 10,86 \text{ E10} \frac{\text{sej}}{\text{m}^3}$$

$$V_{\text{recarga aquífero}} = \frac{\text{Empower diário (sej.d}^{-1}\text{)}}{J15(\text{m}^3 \cdot \text{d}^{-1})} = \frac{6,77 \text{ E16 (sej.d}^{-1}\text{)}}{8,00 \text{ E5 (m}^3 \cdot \text{d}^{-1}\text{)}} = 8,46 \text{ E10} \frac{\text{sej}}{\text{m}^3}$$

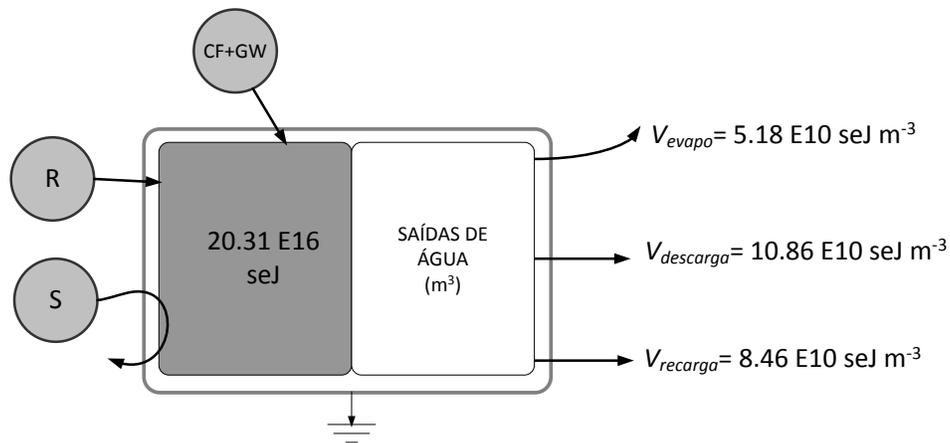


Figura 9b. Ilustração dos valores de energia por massa na abordagem *equal energy*.

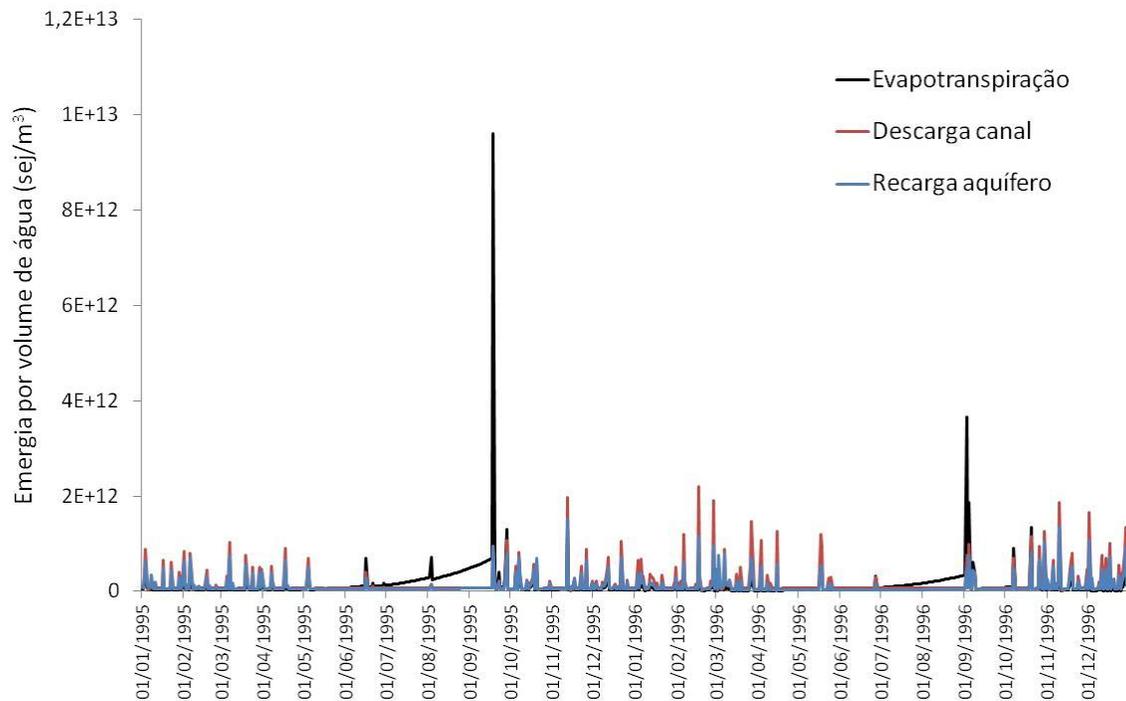


Gráfico 13. Dinâmica do valor de energia por volume ( $\text{sej m}^{-3}$ ) para evapotranspiração, descarga no canal e recarga de aquífero da Bacia do Taquarzinho com a abordagem *equal energy*.

Observa-se no Gráfico 13 como se dá variação da energia por volume de água ao longo dos 730 dias simulados. Apesar da média observada para evapotranspiração ser  $1,44 \text{ E}11 \text{ sej m}^{-3}$  (linha vermelha), no dia 19/09/1995 há um pico próximo a  $1,00 \text{ E}13 \text{ sej m}^{-3}$ , cuja dinâmica de pico ocorre de maneira análoga ao método co-produtos. A diferença é que aqui os valores obtidos respeitam os balanços de energia ao sinalizar a escassez de determinado fluxo. Em relação ao fluxo de descarga pelo canal (linha vermelha), o

valor médio de energia por volume de água foi  $1,54 \text{ E11 sej m}^{-3}$ , com picos nos dias de chuva, assim como observado para recarga de água de aquífero (linha azul), cuja média foi de  $1,09 \text{ E11 sej m}^{-3}$ .

Com a finalidade de comparar os dados obtidos a partir de cada uma das abordagens utilizadas, construiu-se a Tabela 6 para representar os valores médios de energia por massa ( $\text{sej m}^{-3}$ ) obtidos ao longo de 1995-1996. Observando os dados abaixo, os maiores valores foram gerados pelo método de co-produtos, pois a energia de saída foi triplicada em relação à entrada. O método *equal energy* providenciou valores que identificam as diferentes qualidades de cada fluxo, que ficaram próximos à magnitude obtida por *split*.

Tabela 6. Valores médios de energia por volume dos fluxos de água da bacia do Taquarizinho entre 1995 e 1996.

<b>Fluxo</b>	<b><i>Co produtos (sej m<sup>-3</sup>)</i></b>	<b><i>Split (sej m<sup>-3</sup>)</i></b>	<b><i>Equal energy (sej m<sup>-3</sup>)</i></b>
Evapotranspiração	4,33 E11	1,07 E11	1,44 E11
Descarga pelo canal	4,62 E11	1,07 E11	1,54 E11
Recarga de aquífero	3,28 E11	1,07 E11	1,09 E11

#### 4.10 Dinâmica de valores monetários dos serviços hidrológicos

Considerando-se a necessidade de adaptação dos presentes dados para possibilidade de sua aplicação em políticas públicas, torna-se necessário traduzir os índices mensurados em joules equivalente energia solar (*sej*) para unidades monetárias equivalentes, ou Emdólares (EM\$). No sentido de calcular o valor do Emdólar do Brasil, Pereira (2011) contabilizou o fluxo anual de recursos renováveis locais (como energia solar, das marés e do calor interno), não renováveis locais (como petróleo, gás natural, nuclear, solo, fosfato, calcário, metais, etc.), importações de recursos e as transferências monetárias que dão suporte a economia do Brasil no ano de 2008. Contabilizando tais fluxos em joules solares equivalentes (*sej*), e conhecendo-se o Produto Nacional Bruto, considerando a paridade do poder de compra em dólares americanos (USD), o valor de Emdólar do Brasil em 2008 foi de  $4,12 \text{ E12 sej USD}^{-1}$ . Este número significa que para cada dólar gerado de riqueza pela economia brasileira foram necessários, em média,  $4,12 \text{ E12}$  joules equivalentes em energia solar em recursos, no ano de 2008. Este é o valor mais atualizado na literatura, no entanto, lidamos com dados simulados de 1995 e 1996.

Pereira (2011) utilizou a mesma metodologia para os dados do ano de 1996, e o cálculo gerou uma proporção de 4,85 E12 sej USD<sup>-1</sup>, que será utilizado na presente conversão de energia para dinheiro. Como é possível notar, o fator de conversão Emdólar é dinâmico, e no caso do Brasil, diminui ao longo dos anos, o que significa que há uma discreta redução no fluxo de energia necessário para gerar um dólar de riqueza.

#### 4.10.1 Valores monetários por metro cúbico de água

Conforme a equação 28, divide-se o valor de energia por volume presente na Tabela 6 pelo Emdólar de 1996, sendo possível calcular os valores monetários equivalentes médios por volume (EM\$ m<sup>-3</sup>) para os fluxos de evapotranspiração, descarga pelo canal e recarga de aquífero na bacia do Taquarizinho na Tabela 7. Representou-se o valor monetário equivalente na forma de EM\$, ao invés de USD, para lembrar que o cálculo foi originado de um valor baseado em um fluxo de energia.

$$Valor_{fluxo} = \frac{Energia\ por\ volume(sej.m^{-3})}{Emdólar(sej.USD^{-1})} \quad (28)$$

Tabela 7. Valores monetários médios para água dos fluxos de saída da bacia do Taquarizinho em 1995 e 1996, através das três metodologias diferentes.

Fluxo	Co-produtos(EM\$ m <sup>-3</sup> )	Split(EM\$ m <sup>-3</sup> )	Equal energy(EM\$ m <sup>-3</sup> )
Evapotranspiração	0,090*	0,022	0,030
Descarga pelo canal	0,109*	0,022	0,036
Recarga de aquífero	0,063*	0,022	0,010

valores que devem ser evitados pela não conservação de energia e portanto, não conservação do fluxo monetário.

A tabela acima mostra que os maiores valores foram obtidos através da abordagem *co-produtos*, e que o valor mais elevado está associado ao fluxo de descarga pelo canal, que é de EM\$ 0,109 para cada metro cúbico de água. No entanto, deve-se lembrar que utilizando *co-produtos*, não há conservação de energia e, portanto, o impacto seria a geração de valores monetários superestimados para a água. Recomenda-se então que, para fins de aplicação em políticas públicas, tais valores não sejam utilizados, preferindo-se aqueles das abordagens conservadoras tais como *split* e *equal energy*, fato que será discutido nas próximas seções. Por meio da abordagem *split*, foram

obtidos os mesmos valores médios de emdólares por volume para evapotranspiração, descarga e recarga: EM\$ 0,022 m<sup>-3</sup> para todos. Em relação à *equal energy*, o maior valor também esteve associado à descarga pelo canal, equivalente a 0,036, e a evapotranspiração equivaleria a EM\$ 0,030 m<sup>-3</sup>.

Existiu também uma dinâmica diária de valores monetários para cada fluxo, tal como para a energia por volume. Os gráficos 14, 15 e 16 mostram a variação do valor monetário por volume vinculado a cada um dos fluxos de água que deixam a bacia do Taquarizinho entre 01/01/1995 e 31/12/1996. Os comentários sobre as razões das dinâmicas de picos e vales nos valores desses gráficos equivalem àquelas dos gráficos 11, 12, e 13, mudando apenas o fato de lidarmos com valores monetários por volume ao invés de energia por volume. Observa-se um pico máximo próximo a EM\$ 6,00 m<sup>-3</sup> no dia 19/09/95 para o fluxo de evapotranspiração, no método *co-produtos* (Gráfico 14).

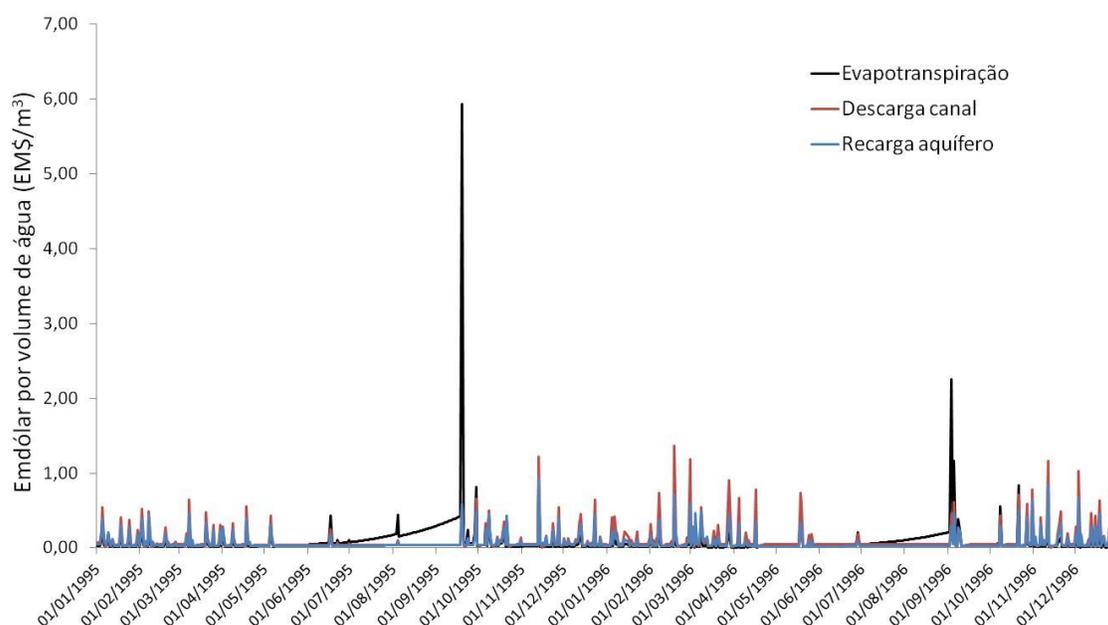


Gráfico 14. Dinâmica diária do valor de Emdólar por volume (EM\$ m<sup>-3</sup>) para evapotranspiração, descarga no canal e recarga de aquífero da Bacia do Taquarizinho 1995-1996, co-produtos.

No caso *split* (Gráfico 15), o gráfico é mais claro devido a ausência de picos pronunciados, não chegando a ultrapassar a marca de EM\$ 0,35 m<sup>-3</sup> durante o período de 2 anos. No caso da abordagem *equal energy* (Gráfico 16), os maiores valores de picos foram também do fluxo de evapotranspiração, que foi aquele com maior escassez no final

do período seco. No entanto, o valor máximo do fluxo não ultrapassou  $EM\$ 2,00 m^{-3}$  durante o período de 2 anos. Por outro lado, os picos da descarga e da recarga não ultrapassaram a cifra de  $0,50 EM\$ m^{-3}$ .

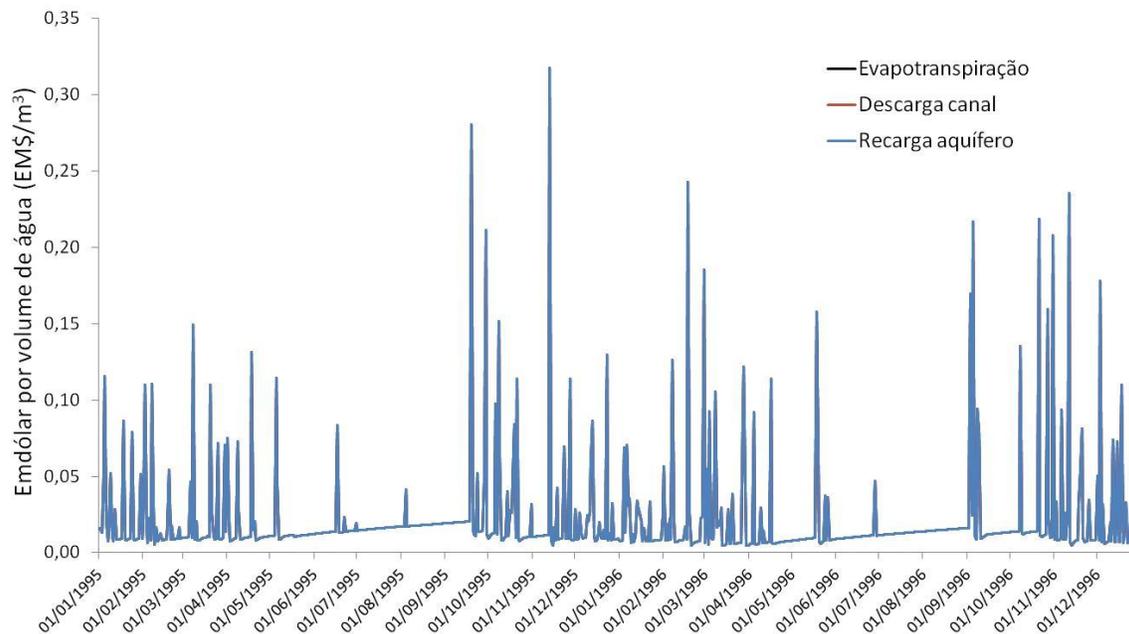


Gráfico 15. Dinâmica diária do valor de Emdólar por volume ( $EM\$ m^{-3}$ ) para evapotranspiração, descarga no canal e recarga de aquífero da Bacia do Taquarizinho 1995-1996, *split*.

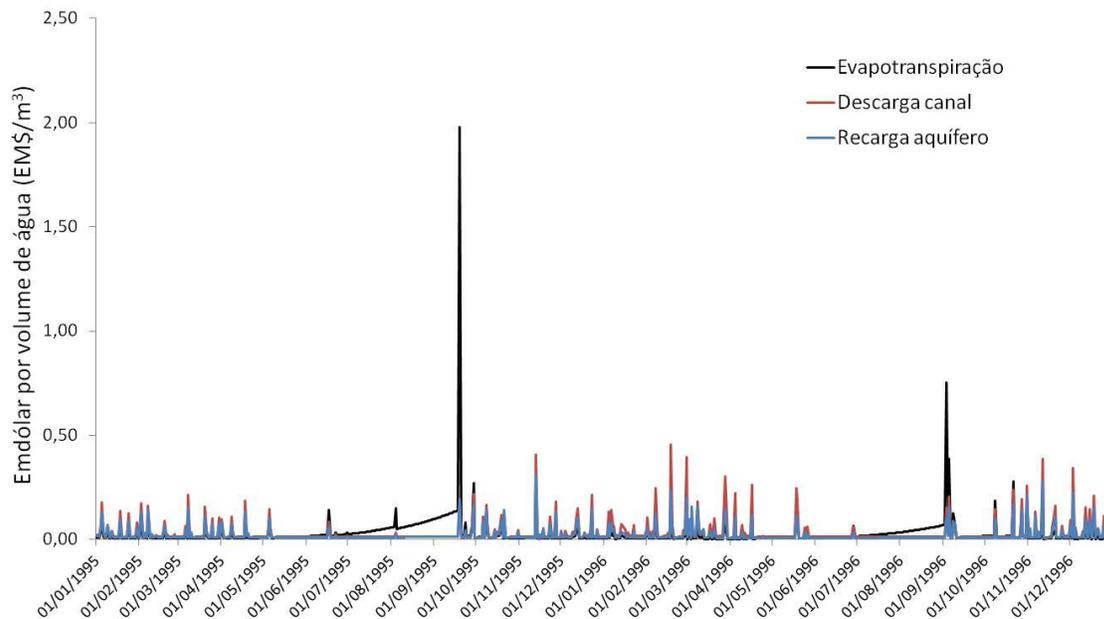


Gráfico 16. Dinâmica diária do valor de Emdólar por volume ( $EM\$ m^{-3}$ ) para evapotranspiração, descarga no canal e recarga de aquífero da Bacia do Taquarizinho 1995-1996, *equal emergy*.

#### 4.10.2 Valores monetários por serviço hidrológico na Bacia do Taquarizinho

Como visto nas seções anteriores, os valores dos fluxos hidrológicos mudam diariamente em termos de emdólares por volume (EM\$ m<sup>-3</sup>). Nesta seção do trabalho, ao invés de atribuir valor a água, pretendemos estimar o valor diário gerado em *toda* a bacia do Taquarizinho para os serviços ecossistêmicos de evapotranspiração, descarga pelo canal e recarga de aquífero. Para obter o valor de emdólares (EM\$) gerados na bacia, torna-se necessário multiplicar o fluxo diário (m<sup>3</sup> d<sup>-1</sup>) pelo seu valor monetário diário médio (EM\$ m<sup>-3</sup>) obtido tanto na abordagem *split* quanto na *equal emergy*. Não foi utilizada a co-produtos devido à superestimação dos valores dos serviços. O uso do valor monetário médio da água é uma consideração feita para que haja uma comparação em base justa entre cenários de uso do solo. Isso evita, por exemplo, que o valor de um mesmo serviço ambiental - como a infiltração de 1 m<sup>3</sup> de água por hectare - tenha valores diferentes dependendo do valor diário calculado para o metro cúbico em diferentes abordagens.

Iniciando os cálculos utilizando o valor monetário por volume (EM\$ 0,022 m<sup>-3</sup>) médio obtido na abordagem *split*, obtêm-se os valores monetários em base diária (EM\$ d<sup>-1</sup>) dos serviços de evapotranspiração, descarga pelo canal e recarga do aquífero na Bacia do Taquarizinho entre 1995 e 1996, representado nos Gráficos 17 a, b e c. Os gráficos também incluem o valor médio de EM\$ gerado daquele serviço por hectare da bacia (EM\$/ha). Observa-se que o serviço hidrológico de maior valor foi a evapotranspiração (Gráfico 17a), cuja soma dos serviços diários equivale, para o período de dois anos, à cifra de EM\$ 12.862.593,41. Considerando a área da bacia e dividindo pelo período de dois anos, o valor médio da evapotranspiração foi de EM\$ 129,01 ha<sup>-1</sup>ano<sup>-1</sup>. Em seguida, o segundo maior valor de serviço ecossistêmico, de acordo com a abordagem *split*, é a recarga de aquífero (Gráfico 17c), cuja soma para 1995/96 foi equivalente a EM\$ 9.948.300,08, um valor médio de EM\$ 99,78 ha<sup>-1</sup>ano<sup>-1</sup>. O somatório dos serviços diários de descarga de água pelo canal (Gráfico 17b) foi de EM\$ 6.020.568,00, uma média de EM\$ 60,39 ha<sup>-1</sup>ano<sup>-1</sup> durante o período simulado. Como será mostrado adiante, tornar-se-á necessário diferenciar até que ponto os fluxos de descarga estão associados a serviços ou desserviços ecossistêmicos. Os valores obtidos no Gráfico 17 não podem ser utilizados para fins de compensação em políticas públicas, sendo fundamental compará-los com aqueles valores de serviços ecossistêmicos que eram gerados anteriormente à ocupação agrícola que ocorreu na década de 1960 na bacia, de maneira a se conhecerem os *trade-offs* associados à mudança no uso do solo.

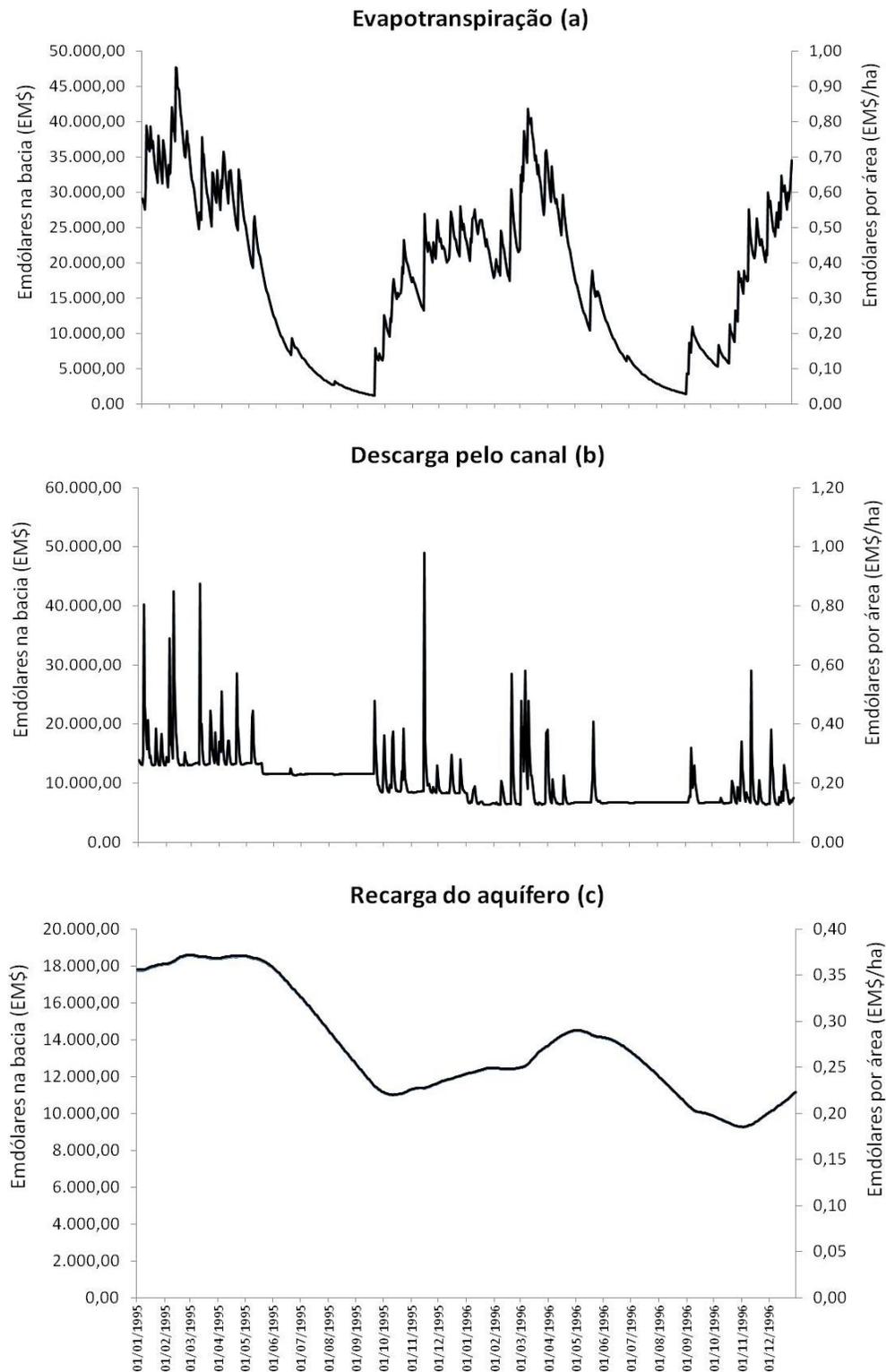


Gráfico 17. Valores monetários dos serviços de evapotranspiração (a), descarga pelo canal (b) e recarga de aquífero (c) na bacia do Taquarizinho entre os anos de 1995-1996, pelo método *split*.

Por fim, calcula-se os valores de serviços ecossistêmicos dos anos 1995-1996 utilizando a abordagem *equal emergy*. Como se pode observar nos gráficos a seguir, e como o próprio nome da abordagem já diz, os valores de emergia de cada um dos três fluxos na bacia são os mesmos para os três serviços em um determinado dia. No entanto, sabe-se que no método *equal emergy* seus valores de emergia por volume são diferentes, como já mostrado anteriormente nos Gráficos 14, 15 e 16. Dessa forma, o valor total referente a cada serviço ecossistêmico é o mesmo durante período de dois anos: EM\$ 9.759.989,11 para evapotranspiração, EM\$ 9.759.989,11 para descarga pelo canal, e EM\$ 9.759.989,11 para recarga de aquífero profundo. Da mesma maneira, o valor médio anual dos serviços por área são os mesmos: EM\$ 97,89 ha<sup>-1</sup> ano<sup>-1</sup>, para cada um dos serviços.

Observa-se pelo resultado dos Gráficos 18 a, b e c que o método *equal emergy*, apesar de diferenciar a qualidade de cada tipo de fluxo (devido aos diferentes valores de EM\$ m<sup>-3</sup> para cada fluxo em um mesmo dia), gera os mesmos valores monetários para os três serviços diários, devido ao fato de a emergia diária que entra ser dividida em três frações iguais para cada serviço, os quais carregarão a mesma quantidade de emergia. Interpretando tal resultado, percebe-se que, independentemente do fluxo mássico ou volumétrico referente a evapotranspiração, descarga pelo canal ou recarga de aquífero em base diária, seus valores de emergia serão os mesmos para uma dada pluviosidade diária. Considerando que o presente trabalho criará diferentes cenários de uso do solo para aplicação no modelo, a intenção é manter fixos todos os parâmetros do modelo – inclusive a pluviosidade – e apenas verificar o efeito da mudança de uso do solo nos três serviços ecossistêmicos gerados pela bacia. Ora, se um dos principais efeitos da mudança da cobertura e no uso do solo é a alteração nas proporções das frações mássicas dos fluxos derivados de uma mesma pluviosidade anual (evapotranspiração, descarga pelo canal e recarga de aquífero), a abordagem *equal emergy* não será sensível às alterações no uso do solo porque não produzirá valores diferentes para cada serviço gerado em um mesmo dia na bacia (EM\$ ou EM\$.ha<sup>-1</sup>.ano<sup>-1</sup>). Portanto, a abordagem *split* é mais interessante para a etapa de valoração exigida pelo modelo aqui desenvolvido quando comparada à *equal emergy*, pois a *split* é a única que pode gerar diferenciação entre os valores monetários dos serviços, para uma mesma pluviosidade e fixando-se todos os outros parâmetros do modelo.

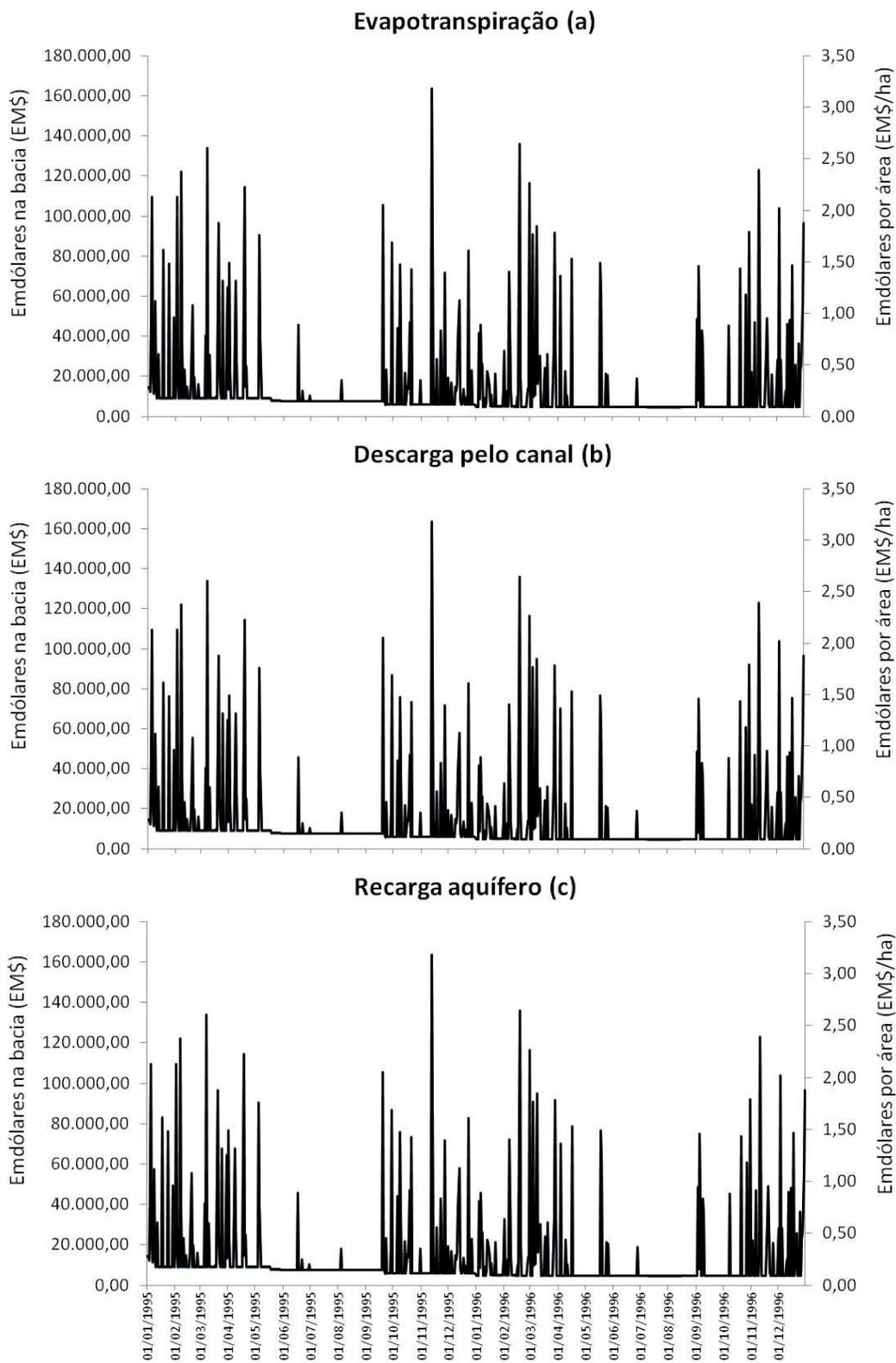


Gráfico 18. Valores monetários dos serviços de evapotranspiração (a), descarga pelo canal (b) e recarga de aquífero (c) na bacia do Taquarizinho entre os anos de 1995-1996, no método *equal energy*.

Comparando-se as três abordagens discutidas nessa tese, os procedimentos de valoração seguintes levarão em conta apenas a abordagem *split*, pois, conforme mostra a Tabela 8, trata-se da única abordagem que é capaz de atender três critérios necessários para aplicação em políticas públicas: gerar valores monetários distintos para os diferentes serviços hidrológicos em um determinado dia, produzir valores diferenciados para serviços quando o modelo considera um cenário diferente de uso e ocupação do solo, além de conservar a emergia de entrada no somatório dos fluxos de saída.

Tabela 8. Critérios que fundamentam a abordagem *split* como a ideal para valoração dos serviços ecossistêmicos no modelo construído para diferentes cenários de uso e ocupação do solo.

<b>Critério</b>	<i>Conservação de emergia</i>	<i>Diferenciação de serviço por volume ou fluxo na bacia (EM\$ m<sup>-3</sup> ou EM\$ ha<sup>-1</sup> ano<sup>-1</sup>)</i>	<i>Aplicabilidade em cenários de uso e ocupação do solo</i>
<b>Co-produtos</b>	Não	Sim	Sim
<b>Split</b>	<b>Sim</b>	<b>Sim</b>	<b>Sim</b>
<b>Equal emergy</b>	Sim	Sim	Não

#### 4.11. Modelo hidro-carbono

A construção do modelo hidro-carbono representa um esforço no sentido de incluir a dinâmica dos fluxos e estoques de carbono junto à dinâmica hidrológica de uma bacia hidrográfica. Isso se deve à problemática das mudanças climáticas, e à necessidade da compreensão da dinâmica dos gases de efeito estufa (principalmente aqueles formados por carbono) através dos compartimentos do ecossistema. O acoplamento de um modelo de processos de carbono ao de processos de água representa um grande desafio e uma necessidade, visto que o ciclo do carbono é dependente do metabolismo dos seres vivos existentes no solo da bacia, cuja complexidade será aqui simplificada em poucas equações que compõem um modelo determinístico. Apesar da modelagem dos fluxos biogeoquímicos do carbono poder tentar compreender os processos metabólicos desempenhados em nível celular por espécies autótrofas e heterótrofas existentes em um ecossistema, o presente modelo não objetiva descrever a dinâmica do carbono com esse grau de detalhamento.

Visando contribuir para o desenvolvimento de políticas públicas voltadas para a valoração do impacto da mudança de uso da terra sob a ótica da alteração na provisão dos serviços ecossistêmicos, esse modelo pretende quantificar tal impacto nos fluxos e estoques de carbono na vegetação, na liteira e no solo, principalmente visando obter o

valor de troca líquida de carbono pelo ecossistema (*NCE*, da sigla em inglês *net carbon exchange*), que determina se determinada bacia é um sumidouro ou emissor de carbono. Além disso, deve-se lembrar que o nível de detalhamento de qualquer modelo está circunscrito à quantidade e à qualidade de dados existentes para a sua calibração e validação. Portanto, o modelo hidro-carbono construído e apresentado a seguir pode ser refinado futuramente, evoluindo para um grau de detalhamento proporcional à disponibilidade futura de dados ou evolução na sua concepção teórica.

Analogamente ao modelo hidrológico, a primeira etapa de elaboração de um modelo consiste em traduzi-lo em um conjunto de estoques e os fluxos relevantes que sejam suficientes para que o modelo mantenha seu balanço de massa e gere resultados no nível de detalhamento inicialmente proposto no projeto. Observa-se na Figura 10 que, admitindo-se que a bacia do Taquarizinho tem três estoques principais de carbono (carbono na biomassa, na liteira e na matéria orgânica do solo), é possível obter uma representação da interação entre os fluxos e estoques do ciclo hidrológico e do carbono.

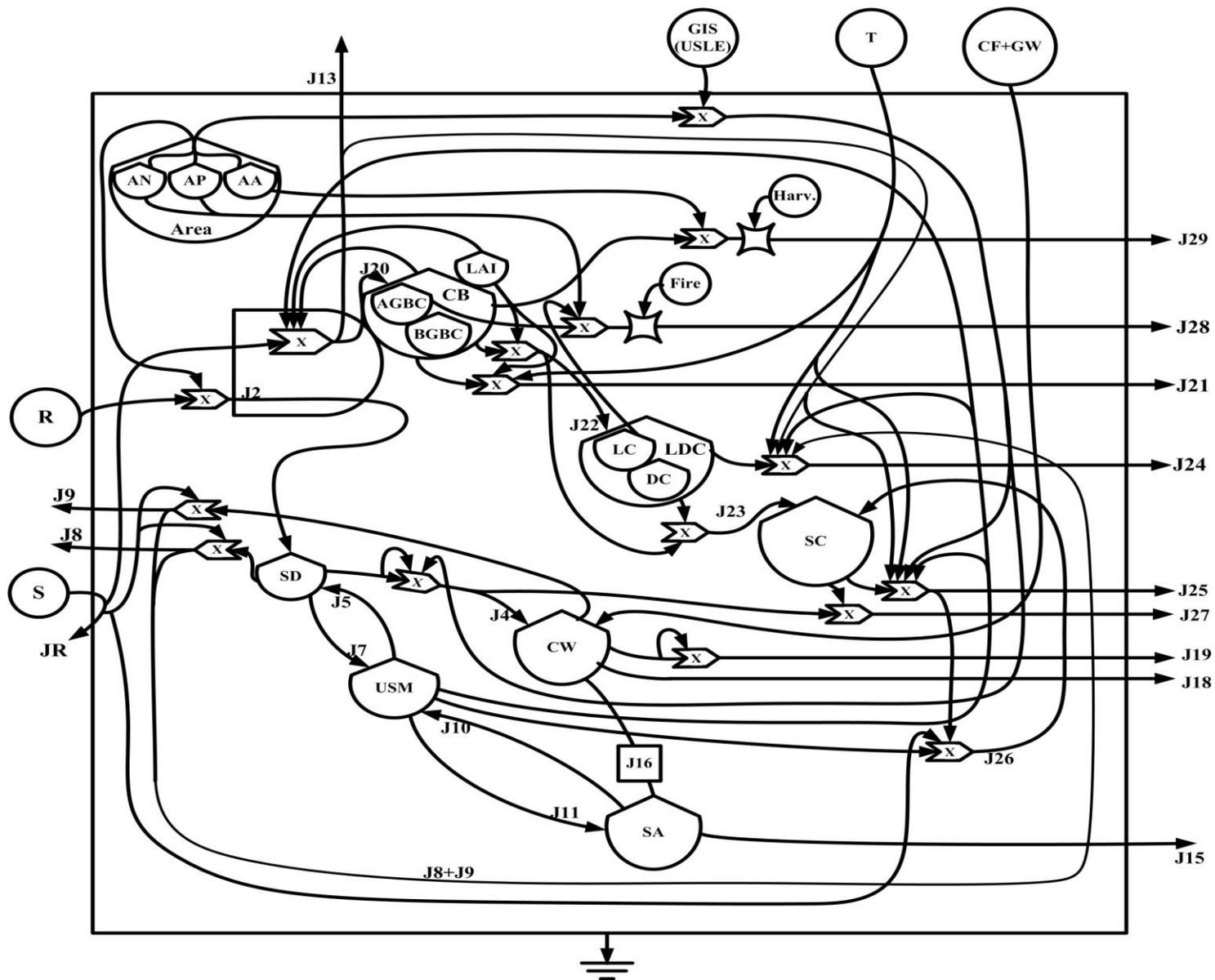


Figura 10. Representação do modelo hidro-carbono. CB: carbono na biomassa; AGBC: biomassa acima do solo; BGBC: biomassa abaixo do solo; LDC: liteira e detritos; LC: liteira acima do solo; DC: detritos abaixo do solo; SC: carbono total do solo.

A partir dos estoques representados no modelo hidro-carbono da Figura 10, é possível sugerir que os principais fluxos de carbono descritos pelo modelo serão:

- J20: fixação de carbono na bacia ( $\text{kg C. d}^{-1}$ );
- J21: respiração autótrofa na bacia ( $\text{kg C. d}^{-1}$ );
- J22: produção de liteira e detritos ( $\text{kg C. d}^{-1}$ );
- J23: incorporação de carbono de LDC ao solo ( $\text{kg C. d}^{-1}$ );
- J24: decomposição de LDC ( $\text{kg C. d}^{-1}$ );
- J25: respiração heterotrófica no solo ( $\text{kg C. d}^{-1}$ );
- J26: oxidação de metano no solo ( $\text{kg C. d}^{-1}$ );
- J27: *runnof* de carbono do solo ( $\text{kg C. d}^{-1}$ );
- J28: saída de carbono pelo fogo ( $\text{kg C. d}^{-1}$ );
- J29: saída de carbono por colheita ( $\text{kg C. d}^{-1}$ );

Observando o diagrama sistêmico do modelo hidro-carbono (Figura 10), é possível visualizar que a fixação de carbono (J20) é a principal entrada de carbono da bacia, responsável pelo incremento do estoque de biomassa (CB), que é subdividida em biomassa aérea (AGCB) e subterrânea (BGCB). Por outro lado, a biomassa vegetal não aumenta indefinidamente e é controlada por quatro drenos principais: respiração autótrofa (J21), produção de liteira acima do solo e detritos das raízes abaixo do solo (J22), perdas de carbono pelo fogo (J28) em pastagens e na vegetação nativa e, finalmente, por colheita nas áreas agrícolas e pastagens (J29).

O fluxo J22 é a principal entrada de carbono para o estoque de liteira e detritos (LDC), que é desmembrado em carbono pertencente a liteira acima do solo (LC) – relacionada à queda de folhas, galhos, troncos, etc. –, e em carbono dos detritos subterrâneos (DC) – principalmente vindos de fragmentos do sistema radicular de plantas. O estoque somado, LDC, tem como outras componentes do balanço as duas saídas de carbono: a decomposição do material orgânico da liteira e dos detritos para atmosfera (J24), e a incorporação do material orgânico remanescente na matéria orgânica do solo (J23). Caso haja um evento de queimada, a parte aérea (LC) também pode ser perdida para atmosfera após a combustão da biomassa. No entanto, a parte subterrânea (DC) permanece intacta ao fogo.

Por fim, o carbono existente no solo (SC) é alimentado pela biomassa morta que se decompõe na liteira acima do solo e nos detritos abaixo do solo. Além disso, mais

carbono é adicionado ao solo devido vindo à oxidação de metano (J26) por micro-organismos metanotróficos existentes na superfície do solo, que transformam o metano em compostos como metanol, formol e formaldeídos. Por outro lado, as saídas de carbono do estoque SC devem-se a atividade de decomposição da matéria orgânica que leva à respiração heterotrófica no solo (J25) e pela perda de carbono devido a erosão hídrica (J27) na bacia.

O balanço de carbono em toda a bacia gera o valor de troca líquida no ecossistema, ou, do termo em inglês, *net carbon exchange* (NCE). Computando-se todas as entradas e saídas de carbono em base diária ou anual, o modelo calcula a troca líquida de carbono do sistema conforme equação 29:

$$NCE = J20+J26-J22-J23-J24-J25-J27-J28-J29 \quad (29)$$

Outra relação importante derivada do balanço de massa no estoque de carbono da biomassa (BC) é a produção primária líquida (PPL), ou *NPP*, do termo em inglês *net primary production*, conforme a equação 30, que relaciona a fotossíntese bruta, a respiração autótrofa, e a perda de biomassa para serapilheira, além das perdas por colheita e fogo:

$$NPP = J20 - J21 - J22 - J28 - J29 \quad (30)$$

Na construção do modelo hidrológico, ficou claro que os fluxos J20, J21 e J22 são os principais elos entre os modelos de ciclo do carbono e de água. A produção primária bruta de carbono (J20) é o fluxo J12 do modelo hidrológico multiplicado pela razão média de 50 % para conteúdo de carbono em biomassa em base seca (IPCC, 2006). Analogamente, a perda de biomassa no modelo hidrológico (J14) equivale ao somatório das perdas de carbono por respiração autótrofa (J21) e à queda de serapilheira e detritos (J22). Como os fluxos J21 e J22 estão em unidades de kg C d<sup>-1</sup>, e o fluxo J14 deve ser medido em kg biomassa d<sup>-1</sup>, divide-se J14 por 2 para converter biomassa em fluxo equivalente de carbono.

#### 4.11.1 Equações do modelo hidro-carbono

Analogamente ao modelo hidrológico, a construção do diagrama sistêmico para o *hidro-carbono* é uma ferramenta que auxilia a construção das relações matemáticas das equações do modelo. Estas equações apresentam em seu lado esquerdo o fluxo J<sub>n</sub> a ser modelado e do lado direito uma relação multiplicativa entre diversos fatores (A,B,C,D, etc.) que podem expressar uma relação direta ou indiretamente proporcional ao fluxo J<sub>n</sub> a

ser modelado. No entanto, a revisão da literatura que embasa a elaboração das equações também é capaz de alterar o diagrama sistêmico (Figura 10), tornando iterativo o processo de interpretação do sistema e de elaboração de suas equações. Via de regra, um fluxo  $J_n$  é modelado como no exemplo abaixo:

$$J_n = k_n \cdot A \cdot B \cdot C \cdot D^{-1} \quad (31)$$

Na equação 31, observa-se que todo fluxo  $J_n$  apresenta uma constante  $k_n$ , que é um valor calculado na calibração do modelo, desde que existam informações sobre o valor médio de  $J_n$  e das variáveis A,B,C,D, para um determinado instante de tempo. O valor  $k_n$ , porém, torna-se um valor fixo na etapa de simulação, quando  $J_n$  somente irá variar em função das variáveis A, B, C, D e quantas outras forem necessárias. Observa-se que A, B e C são variáveis diretamente proporcionais, diferentemente de D, cujo incremento em seu valor levará a uma diminuição no fluxo  $J_n$ , caso A, B e C não se alterem. É importante ressaltar que a etapa de elaboração das equações dos fluxos  $J_n$  também segue um processo iterativo com a calibração e a validação do modelo, pois a inclusão de mais variáveis somente deve ocorrer quando o erro relativo entre valores simulados e reais for diminuído. No caso em que alguma variável estiver descrita na literatura como relacionada ao fluxo  $J_n$  não apresentar resposta satisfatória dentro do modelo hidro-carbono – ou seja, quando a curva simulada apresenta um perfil de comportamento e magnitudes muito distantes em relação ao dados reais na validação –, a mesma é excluída do modelo (Figura 11).

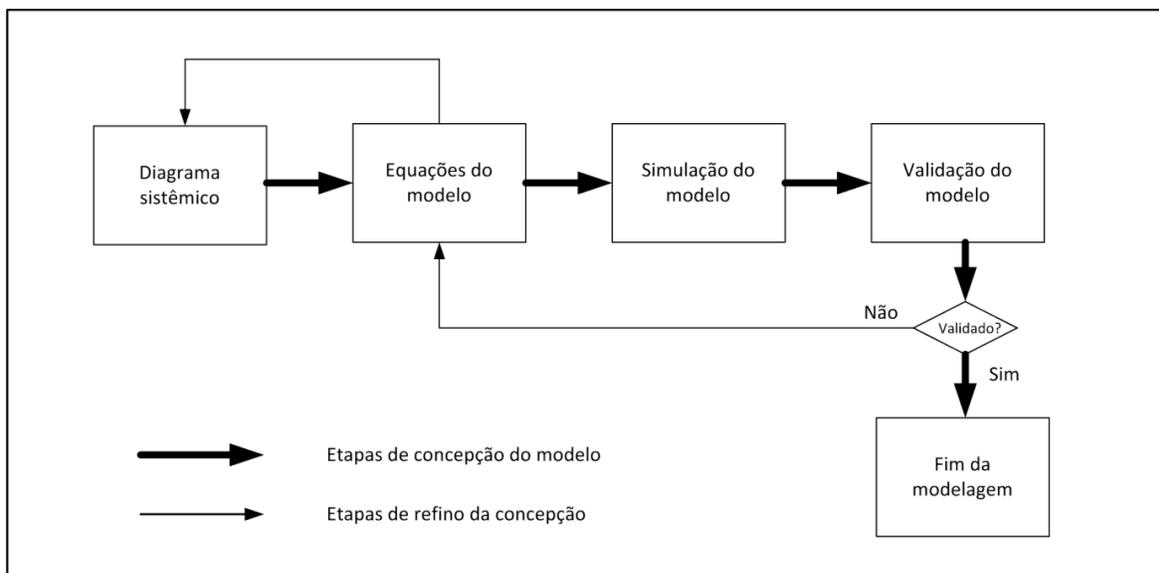


Figura 11. Fluxograma de etapas envolvidas na concepção do modelo e suas equações.

No modelo hidro-carbono, o fluxo (J20) representa a entrada principal de carbono na bacia: o sequestro de carbono pela vegetação. O fluxo J20 está para o ciclo de carbono assim como a chuva está para o ciclo da água. A equação de Tilley e Brown (2006) para produção de biomassa representa de maneira muito simplificada e efetiva a dinâmica sazonal de incremento bruto de biomassa na vegetação, tendo como variáveis diretamente proporcionais a umidade do solo (USM), a insolação (JR) e a dimensão do estoque de biomassa (CB). No entanto, incluiu-se no modelo de produção primária bruta o índice de área foliar (LAI, *leaf area index*). O LAI é um fator diretamente proporcional à fixação de carbono pois, em geral, uma maior área do dossel da vegetação, promove aumento no potencial de fixação de carbono (DE PURY e FARQUHAR, 1997; COX et al., 1998; LAPOLA, 2007). Portanto, a equação de fixação será expressa com a seguinte relação multiplicativa:

$$J20 = k_{20}.CB.USM.JR.LAI \quad (32)$$

A respiração autótrofa (J21) em uma floresta depende dos estoques de carbono na biomassa aérea e subterrânea (CB) de acordo com Chaves (1992). Trata-se de uma relação diretamente proporcional, pois quanto maior o estoque de biomassa, maiores serão a respiração de manutenção e de crescimento esperadas para aquela estrutura vegetal. Segundo Tannus (2004) e Chaves (1992), outra variável crucial para modelar J21 é a temperatura. De acordo com os autores, no inverno a taxa respiração autotrófica diminuiria pela redução na atividade metabólica causada pelas menores temperaturas (T). Portanto, se estabelece uma relação diretamente proporcional. Finalmente, Lapola (2007) descreve que, quanto maior o índice de área foliar, maior a respiração autótrofa, de acordo uma equação em que a unidade é subtraída pela exponencial de LAI multiplicada por uma constante:

$$f(LAI) = \frac{1 - e^{-k_1.LAI}}{k_2} \quad (33)$$

Considerando que a constante  $k_1$  é fixada como 0,5 (LAPOLA, 2007), e que  $k_2$  estará incorporada na equação 34 pela constante  $k_{21}$ , obtêm-se a equação síntese que reflete a respiração autótrofa no modelo hidro-carbono:

$$J21 = k_{21}.CB.T.(1 - e^{-0,5.LAI}) \quad (34)$$

Em relação à produção de liteira acima do solo e detritos subterrâneos (J22), a expressão matemática incluirá o estoque de biomassa total (CB), pois quanto maior o porte da vegetação, maior o potencial de geração de biomassa morta. Baseado em Cianciaruso et al. (2006), incluir-se-á o índice de área foliar como variável que modela o padrão de comportamento do fluxo J22. No período de estiagem, coincidente com o inverno na bacia do Taquarizinho, ocorre o pico de produção de serapilheira. De acordo com informações de índice de área foliar (LAI) geradas pelo LAND MODIS (ORNL DAAC, 2010) na bacia do Taquarizinho e com Cianciaruso et al. (2006), o LAI atinge valores mínimos nesta época do ano, possivelmente porque a perda da folhagem reduz a área foliar do dossel. Baseado nessa observação, entende-se que neste modelo a produção de serapilheira é inversamente proporcional ao LAI:

$$J22 = k_{22} \cdot CB \cdot LAI^{-1} \quad (35)$$

Se o fluxo J22 incrementa o estoque LDC, o fluxo J24 representa uma de suas duas saídas de carbono descritas no modelo. A medida em que a liteira acima do solo e detritos das raízes são produzidos, a ação de micro-organismos faz com que o material orgânico seja decomposto, fazendo com que uma fração do carbono de LDC seja perdida para atmosfera. A dinâmica do fluxo J24 deve-se a quatro fatores principais. Como descrito por Lapola (2007), a dinâmica de decomposição de serapilheira apresenta correlação positiva com a evapotranspiração (em nosso modelo representado por J8+J9+J13), com a umidade do solo (USM) e com o estoque de carbono na liteira (LDC). Ou seja, em dias de maior umidade do solo, maior evapotranspiração e maior estoque de LDC, maior será o fluxo J24. Outra variável importante, a temperatura da superfície do solo (T, em graus Celsius), também exerce papel fundamental no metabolismo dos organismos decompositores, e é descrita por Lapola (2007) como uma função exponencial descrita como:

$$f(T) = k \cdot 2^{0,1(T-25)} \quad (36)$$

Utilizando-se da função de temperatura da equação acima e da relação diretamente proporcional de decomposição à evapotranspiração, à umidade do solo e estoque de liteira e detritos, chega-se a equação:

$$J24 = k_{24} \cdot (J8 + J9 + J13) \cdot USM \cdot LDC \cdot 2^{0,1(T-25)} \quad (37)$$

O outro dreno de LDC é o fluxo J22, que está atrelado diretamente a transferência da liteira e dos detritos decompostos, que serão incorporados ao estoque de carbono pertencente ao solo (J23). Por isso, entende-se que J23 dependerá, diretamente, de J22. Isto significa assumir que a dinâmica de incorporação de carbono da biomassa ao solo é mais intensa quando há mais biomassa disponível. Além disso, assumir-se-á que outra variável é o estoque disponível de serapilheira e detritos. A dimensão de LDC influenciará a taxa de incorporação de carbono no solo à medida em que a microbiota do solo encontra as condições ambientais necessárias para decomposição, apenas limitada à quantidade de substrato para decomposição. Para J23, a equação será:

$$J23 = k_{23}.LDC.J22 = k_{23}.LDC.(k22.CB.LAI^{-1}) \quad (38)$$

Se, por um lado J23 representa uma entrada de carbono para o estoque do solo, J25 representa a sua saída mais importante através da respiração de sua matéria orgânica por seres heterótrofos, em sua maioria, micro-organismos. Segundo Lapola (2007), existe uma correlação positiva entre a umidade do solo e a sua taxa de decomposição. Além disso, Dias (2009) acrescenta que além de USM, a temperatura da superfície do solo é também um fator que afeta diretamente a dinâmica de decomposição de sua matéria orgânica. Para tanto, considerar-se á a mesma função de temperatura (equação 36) utilizada anteriormente. Por fim, adicionar-se-á a consideração de que, quanto maior o estoque de carbono no solo (SC), maior a quantidade de matéria orgânica decomposta, devido a maior disponibilidade de substrato para decomposição. A relação matemática que representa J25 é a seguinte:

$$J25 = k_{25}.SC.USM.2^{0,1(T-25)} \quad (39)$$

O solo apresenta também um fluxo de metano, que no caso do Cerrado, equivale a oxidação de metano que representa um input de carbono para o solo (no caso de ausência de incêndios). Diferentemente de sedimentos alagados, os solos apresentam as condições necessárias para bactérias metanotróficas realizarem a conversão de metano em compostos como formol e formaldeídos que são utilizados em seu metabolismo. Segundo Cardoso et al. (2001), tal oxidação é sazonal e diminui em períodos chuvosos e de inverno, quando a umidade do solo (USM) é maior e há menor incidência de luz solar (JR). Para complementar a relação matemática, consideraremos que quanto maior a atividade de decomposição no solo (J25), melhores serão as condições para as bactérias metanotróficas se desenvolverem. Portanto, considerando a relação indiretamente

proporcional com a umidade do solo e JR, além da relação direta com a decomposição no solo, modelamos a oxidação de metano no solo da seguinte maneira:

$$J26 = k_{26} \cdot J25 \cdot USM^{-1} \cdot JR^{-1} \quad (40)$$

Considerar-se-á no modelo também a perda de carbono do solo via erosão hídrica, quando o escoamento superficial ocasiona a perda de solo, que promove a perda do carbono orgânico e inorgânico do solo. Como o modelo hidrológico leva em conta a perda de solo via *runoff* na bacia (J4), assumir-se-á que a perda de carbono no solo será proporcional ao fluxo J4 e ao estoque de carbono (SC) na bacia:

$$J27 = k_{27} \cdot J4 \cdot SC \quad (41)$$

Em se tratando de uma bacia inserida no bioma Cerrado, outra saída de carbono existente na bacia é a perda de carbono pelas queimadas (J28) que podem ser de origem natural ou antrópica. Nesse caso, a Figura 10 representa o símbolo de interruptor pois os eventos de queimadas são eventos de curta duração, cujo período de recorrência predominante considerado será de 2 anos, ou seja, um evento de fogo a cada três anos, baseado em resultados do estudo de Rivera-Lombardi (2003) para áreas do Cerrado brasileiro. De acordo com este estudo, as fisionomias vegetais afetadas são de Floresta, Cerradão, Campo Cerrado e Campo, cuja área queimada medida foi de aproximadamente 4.000 km<sup>2</sup> de um total de 24.500 km<sup>2</sup> com fisionomias diferentes<sup>10</sup>, o que equivale a cerca de 15% dessa área. De acordo com Batle-Bayer, Batjes e Bindraban (2010), o fator de combustão na área queimada com Cerrado varia de 16% a 54% do carbono da biomassa acima do solo<sup>11</sup>. Portanto, utilizar-se-á a média ponderada, que equivale a 35% de perda do estoque AGBC e LC quando houver um evento de queimada. Não haverá equação da dinâmica do fogo por não se tratar de um evento distribuído ao longo do ano, porém concentrado no tempo e aleatório, com duração aqui determinada em sete dias no ano. Dessa forma, J28 corresponderá a um evento que subtrairá carbono dos estoques de biomassa acima acumulados do solo (AGBC) e da parte aérea da liteira (LC) do Cerrado e pastagens, excetuando-se áreas agrícolas. Portanto, o valor do fluxo J28 considerará a

---

<sup>10</sup> Estudo para a parte oriental da divisa dos estados de Tocantins e Goiás e localizada na divisa dos Estados de Mato Grosso, Pará e Tocantins. Valores de 15% de área queimada, baseada nos resultados para setor Chapada dos Veadeiros e setor Araguaia (RIVERA-LOMBARDI, 2005).

<sup>11</sup> Considerando fatores de combustão para as diferentes fisionomias Cerrado aberto (FC=54%), Cerrado denso (FC=33%), e Cerrado s.stricto (FC=16,3% e 18%) calculados para regiões dentro do Distrito Federal, Roraima e Minas Gerais.

perda de 35% do carbono aéreo (AGBC e LC) acumulado em 15% das áreas com fisionomia de Cerrado e pastagens.

No caso da agricultura, haverá a subtração de parte do carbono acumulado entre o período das colheitas (fluxo J29). Na bacia existem duas culturas principais ao longo do ano, sendo a de soja no verão e milho no inverno. A duração das épocas de colheita não ultrapassarão o período de 2 semanas<sup>12</sup>, ao final do mês de março, e variará conforme a quantidade estocada de carbono como biomassa agrícola no ano. Assim, o carbono exportado da bacia via colheita não terá uma equação diária, pois será um evento concentrado no tempo, cujo objetivo é retirar o estoque agrícola de carbono acumulado até o dia imediatamente anterior ao evento de colheita na bacia. No caso das pastagens, considerar-se-á a condição de pastoreio em que os animais consomem parte da produção diária de biomassa em vegetação de pastagens.

As equações de diferença que representam a variação das unidades dos estoques através do tempo determinadas no modelo “hidro-carbono” foram baseadas no balanço de entradas e saídas dos estoques presentes no diagrama sistêmico (Figura 10):

$$\Delta CB = k_{20}.CB.USM.JR.LAI - k_{21}.CB.T.(1 - e^{-0.5.LAI}) - k_{22}.CB.LAI^{-1} - J28 - J29 \quad (42)$$

$$\Delta LDC = k_{22}.CB.LAI^{-1} - k_{23}.LDC.(k_{22}.CB.LAI^{-1}) - k_{24}.(J8 + J9 + J13).USM.LDC.2^{0.1(T-25)} - J28 \quad (43)$$

$$\Delta SC = k_{23}.LDC.(k_{22}.CB.LAI^{-1}) + k_{26}.J25.USM^{-1}.JR^{-1} - k_{25}.SC.USM.2^{0.1(T-25)} - k_{27}.J4.SC \quad (44)$$

#### 4.12 Coleta de dados para calibração do modelo hidrocarbono

##### 4.12.1 Calibração dos valores dos estoques do modelo hidrocarbono

A calibração dos estoques será realizada para três anos, com dados relativos a 2006-2007-2008 devido à restrição de dados para validação do modelo hidrocarbono com dados de *Gross Primary Production* (Produção Primária Bruta) e evapotranspiração disponibilizados pelo sistema de informações ORNL DAAC (2010) referentes ao intervalo entre os anos 2000 a 2011. Como havia apenas um mapa de uso do solo (EMBRAPA CNPTIA, 2011) referente ao uso do solo em 2007, a janela temporal de três anos escolhida para a calibração, simulação e validação foi de 2006 a 2008, assumindo a cobertura vegetal de 2007 como sendo fixa. Utilizando o mapa observado na Figura 12,

<sup>12</sup> Estima-se pela existência de 1 colheitadeira por 500 hectares (20 colheitadeiras na área da bacia), e uma taxa de colheita de 2 ha por hora, trabalhando 20 horas por dia. São colhidos 800 ha por dia, totalizando 12,73 dias para colheita total da biomassa acumulada no ano. Aproxima-se para 13 dias totais de colheita, cujo término será ajustado para o final de março para a cultura principal de verão e para o final de setembro, para a cultura de inverno.

foram agregadas as áreas em apenas 3 classes de uso: agricultura (20,4% da área total), pastagem (36,8%), vegetação nativa (42,3%) e outros (0,5%).



- Pastagem
- Mata nativa
- Agricultura
- Outros

Figura 12. Mapa de uso do solo na bacia do Taquarizinho no ano de 2007 (Embrapa CNPTIA, 2011).

Analogamente ao modelo hidrológico, foram necessárias as dimensões dos estoques presentes na bacia do Taquarizinho. A área da bacia (AU), de acordo com mapeamento da Embrapa CNPTIA (2011), é de 498.514.329 m<sup>2</sup>, sendo esta ocupada por aproximadamente 210.980.000 m<sup>2</sup> de vegetação nativa (42,3% da área total), 101.776.000 m<sup>2</sup> de agricultura (20,4%), 183.325.000 m<sup>2</sup> de pastagens (36,8%) e 0,5% referentes a outros usos no ano de 2007.

Assim como para o modelo hidrológico, o estoque de biomassa (BU) foi obtido a partir das informações de uso e ocupação de solo, além da estimativa de 70 toneladas de biomassa vegetal por hectare (aérea e subterrânea juntas) aproximado para Cerrado *sensu strictu* (BUSTAMANTE et al., 2006; FEARNSIDE, 1996), 10 toneladas por hectare de biomassa para pastagens (FEARNSIDE, 1996), e 7 ton ha<sup>-1</sup> para a agricultura, baseando-se na biomassa total da soja (CAVALETT, 2008). Considerando-se o uso do solo em 2007, o estoque médio de biomassa na bacia foi de 34,7 t.ha<sup>-1</sup> ou 3,47 kg.m<sup>-2</sup>. O estoques seguintes foram os mesmos do modelo hidrológico: a lâmina de retenção superficial (SD) é estimada em 3 vezes a pluviosidade média de um dia ou 11,48 mm, umidade inicial para estoque de água no solo (USM) foi de 130 mm, o volume para o aquífero superficial (SA) estimado em 1,50 E8 m<sup>3</sup>, e o volume de água dos canais (CW) foi estimado como 1,02 E6 m<sup>3</sup> para fins de calibração.

Em relação ao carbono, foram levantadas informações que dizem respeito aos dados médios de carbono aéreo e subterrâneo em Cerrado s.s., pois esta era a cobertura vegetal dominante na bacia. De acordo com Batle-Bayer, Batjes e Bindraban (2010), cerca de 40% do carbono da biomassa da vegetação nativa encontra-se acima do solo e 60% é subterrâneo<sup>13</sup>. Portanto, considerou-se como valor de carbono abaixo do solo (BGBC) como 60% do total estocado somente na biomassa da vegetação nativa, ou seja, relativa ao cerrado. Esse cálculo corresponde a BGBC=4,40 E8 kg C na bacia, considerando que a agricultura e pastagens não apresentam carbono na biomassa subterrânea em quantidades significativas no modelo aqui desenvolvido. O carbono aéreo (AGBC), relativo a parte da biomassa acima do solo sob cobertura de cerrado, pastagens e agricultura, é obtido pela subtração do carbono total CB=8,66 E8 kg C do carbono subterrâneo (BGBC) da vegetação nativa, obtendo-se AGBC=4,25 E8 kg C.

Em relação ao estoque de carbono no solo, o intervalo de valores para Cerrados brasileiros, segundo Brossard et al. 1997 (apud. MONTERO, 2008), para o perfil de 0-1 metro, varia de 122,5 - 185 tC ha<sup>-1</sup>. Por outro lado, Braz et al. (2004) descrevem o conteúdo de carbono no solo como 83 tC ha<sup>-1</sup> em 1 metro de profundidade em cerrado nativo, entre 85,1-95,4 tC ha<sup>-1</sup> para área de pastagens. Como trata-se de uma bacia com ocupação diversa na bacia, estimar-se-á o valor inicial de SC em de 100 tC ha<sup>-1</sup>, que equivale a 4,99 E9 kgC, considerando o valor médio para toda a área da bacia do Taquarizinho.

---

<sup>13</sup> Média aritmética a partir de dados medidos para fisionomias de Campo Limpo, Campo sujo, Cerrado aberto, Cerrado denso, Cerrado *sensu strictu* localizados em no DF, RR e MG (BATLE-BAYER, BATJES E BINDRABAN, 2010).

Em relação à liteira (estoque LDC), existem poucos trabalhos em relação a sua quantificação no Cerrado. Aduan, Vilela e Klink (2003) estimam que o estoque acumulado em 20 anos sem incêndios no Cerrado é da ordem de 2,37 a 3,48 tC ha<sup>-1</sup> na superfície. Considerar-se-á, pela média do intervalo, que tal estoque superficial de 3 tC ha<sup>-1</sup> que o mesmo corresponde a 40% do carbono total de LDC, sendo que existem detritos subterrâneos (60% de LDC) calculados como 4,5 tC ha<sup>-1</sup>, seguindo proporção linear. Assim calcula-se um valor inicial de carbono na liteira acima do solo e detritos abaixo do solo (LDC) de 7,5 tC ha<sup>-1</sup> sendo equivalente 3,74 E5 kg C na bacia.

#### 4.12.2 Calibração dos valores dos fluxos

A pluviosidade média anual foi mantida como 1396 mm, o que equivale a 3,83 mm de água por dia (ANA, 2011). Portanto, J2 é obtido multiplicando-se o fluxo diário pela área total da bacia. Em relação ao fluxo de base, que alimenta o curso d'água ao longo dos períodos de seca, há pouca informação na literatura sobre os valores exatos ao longo do tempo, e por isso foi utilizado na calibração o valor médio observado de entre 2006-2008 no Sistema Nacional de Recursos Hídricos (SNIRH/ANA), equivalente a 4,6m<sup>3</sup>.s<sup>-1</sup>, que resulta num fluxo médio de 3,97 E5 m<sup>3</sup> d<sup>-1</sup>.

Os demais valores de fluxos de água para calibração foram similares ao modelo hidrológico, exceto os valores de J4, J7, J11, J15, J18 e J19, alterados pela diferente cobertura vegetal. Realizou-se o cálculo do parâmetro "A" (da equação *USLE*) para a estimativa de J4. Nesse caso, para o uso do solo em 2007 a área de mata nativa na bacia é 210,98 km<sup>2</sup> (AN, 42,3% da área total), com 183,4 km<sup>2</sup> de pastagens (AP, 36,8%) e 101,8 km<sup>2</sup> agricultura (AA, 20,4%). A Tabela 9 apresenta o cálculo do fator de perda de solo, que fornece uma perda de solo média anual de 576.738,50 toneladas. Considerando a área da bacia, a perda de solo média foi de  $\bar{A} = 11,66$  toneladas por hectare, tendo-se como base a pluviosidade dos anos 1995-1996. Portanto, utilizando-se da equação 24, estima-se o valor de J4:

$$J4 = k_w \cdot \bar{A} = 7770,16 \frac{m^3 ha}{ton d} \cdot 11,66 \frac{ton}{ha} = 9,06 E4 \frac{m^3}{d}$$

Tabela 9. Fatores da equação USLE baseado em Bacchi (2007) adequados para ocupação em 2007 (EMBRAPA CNPTIA, 2011).

Sub-bacia	Uso	Área (km <sup>2</sup> )	R	K	C	P	L.S	A (ton/ha/ano)	Perda(ton/ano)	% Perda
1e	agricultura	12,47	7030	0,016	0,1415	0,2	0,49	1,55976016	1945,02092	0,400%
1d	agricultura	6,73	7030	0,016	0,1415	0,2	0,42	1,33693728	899,7587894	0,185%
2e	agricultura	8,63	7030	0,016	0,1415	0,2	2,57	8,18078288	7060,015625	1,453%
2d	pastagem	2,67	7030	0,016	0,011	1	2,72	3,3654016	898,5622272	0,185%
3e	agricultura	6,54	7030	0,016	0,1415	0,2	3,87	12,31892208	8056,57504	1,659%
3d	pastagem	1,08	7030	0,016	0,011	1	1,84	2,2765952	245,8722816	0,051%
4e	agricultura	15,08	7030	0,016	0,1415	0,2	0,91	2,89669744	4368,21974	0,899%
4d	agricultura	8,85	7030	0,016	0,1415	0,2	1,05	3,3423432	2957,973732	0,609%
5e	agricultura	8,84	7030	0,016	0,1415	0,2	1,04	3,31051136	2926,492042	0,602%
5d	agricultura	8,72	7030	0,016	0,1415	0,2	2,69	8,56276496	7466,731045	1,537%
6e	agricultura	12,45	7030	0,016	0,1415	0,2	2,2	7,0030048	8718,740976	1,795%
6d	pastagem	3,55	7030	0,016	0,011	1	1,35	1,670328	592,96644	0,122%
7e	nativa	3,31	7030	0,016	0,005	1	2,59	1,456616	482,139896	0,099%
7d	pastagem	3,63	7030	0,016	0,011	1	2,34	2,8952352	1050,970378	0,216%
8e	nativa	7,65	7030	0,005	0,003	1	10,15	1,0703175	818,7928875	0,169%
8d	pastagem	2,4	7030	0,016	0,011	1	4,5	5,56776	1336,2624	0,275%
9e	nativa	5,96	7030	0,005	0,003	1	16,83	1,7747235	1057,735206	0,218%
9d	nativa	1,95	7030	0,005	0,003	1	5,75	0,6063375	118,2358125	0,024%
10e	nativa	4,92	7030	0,045	0,003	1	2,19	2,0784195	1022,582394	0,211%
10d	pastagem	1,54	7030	0,045	0,011	1	3,87	13,4670195	2073,921003	0,427%
11e	pastagem	5,42	7030	0,045	0,011	1	5,88	20,461518	11090,14276	2,283%
11d	nativa	6,09	7030	0,045	0,005	1	2,45	3,8752875	2360,050088	0,486%
12e	pastagem	9,66	7030	0,045	0,011	1	4,38	15,241743	14723,52374	3,031%
12d	nativa	4,92	7030	0,005	0,005	1	2,85	0,5008875	246,43665	0,051%
13e	pastagem	11,19	7030	0,045	0,011	1	6,32	21,992652	24609,77759	5,066%
13d	nativa	9,79	7030	0,005	0,003	1	6,62	0,698079	683,419341	0,141%
14e	nativa	3,28	7030	0,045	0,003	1	3,18	3,017979	989,897112	0,204%
14d	pastagem	7,81	7030	0,005	0,011	1	8,38	3,240127	2530,539187	0,521%
15e	pastagem	4,61	7030	0,045	0,011	1	6,83	23,7673755	10956,76011	2,256%
15d	nativa	6,26	7030	0,045	0,005	1	4,32	6,83316	4277,55816	0,881%
16e	pastagem	18,45	7030	0,045	0,011	1	8,78	30,553083	56370,43814	11,605%
16d	nativa	27,01	7030	0,045	0,005	1	4,03	6,3744525	17217,3962	3,545%
17e	nativa	20,37	7030	0,045	0,005	1	11,26	17,810505	36279,99869	7,469%

Tabela 9. Fatores da equação USLE baseado em Bacchi (2007) adequados para ocupação em 2007 (Embrapa CNPTIA, 2011).

Sub-bacia	Uso	Área (km <sup>2</sup> )	R	K	C	P	L.S	A (ton/ha/ano)	Perda(ton/ano)	% Perda
17d	pastagem	13,64	7030	0,045	0,011	1	0,58	2,018313	2752,978932	0,567%
18e	pastagem	6,52	7030	0,045	0,011	1	0,87	3,0274695	1973,910114	0,406%
18d	pastagem	5,6	7030	0,045	0,011	1	4,21	14,6501685	8204,09436	1,689%
19e	nativa	5,19	7030	0,005	0,003	1	8	0,8436	437,8284	0,090%
19d	pastagem	4,92	7030	0,005	0,011	1	8,2	3,17053	1559,90076	0,321%
20e	nativa	13,93	7030	0,045	0,005	1	3,37	5,3304975	7425,383018	1,529%
20d	agricultura	15,69	7030	0,045	0,1415	0,2	11,26	100,8074583	158166,9021	32,562%
21e	veg. rala	10,96	7030	0,045	0,011	1	9,23	32,1190155	35202,44099	7,247%
21d	nativa	2,06	7030	0,045	0,003	1	1,26	1,195803	246,335418	0,051%
22e	agricultura	4,42	7030	0,045	0,1415	0,2	1,78	15,9358149	7043,630186	1,450%
22d	agricultura	5,38	7030	0,045	0,1415	0,2	4,95	44,31588975	23841,94869	4,908%
23e	nativa	1,6	7030	0,045	0,003	1	1,9	1,803195	288,5112	0,059%
23d	agricultura	1,85	7030	0,045	0,1415	0,2	3,88	34,7364954	6426,251649	1,323%
24e	nativa	14,66	7030	0,045	0,003	1	3,47	3,2932035	4827,836331	0,994%
24d	pastagem	12,58	7030	0,045	0,011	1	5,15	17,9212275	22544,9042	4,641%
25e	nativa	15,04	7030	0,005	0,003	1	7,04	0,742368	1116,521472	0,230%
25d	pastagem	7,39	7030	0,045	0,011	1	4,23	14,7197655	10877,9067	2,239%
26e	nativa	12,54	7030	0,045	0,003	1	8,53	8,0953965	10151,62721	2,090%
26d	pastagem	2,25	7030	0,005	0,011	1	4,16	1,608464	361,9044	0,075%
27e	veg. rala	3,02	7030	0,016	0,011	1	5,4	6,681312	2017,756224	0,415%
27d	nativa	5,05	7030	0,016	0,003	1	3,08	1,0393152	524,854176	0,108%
28e	pastagem	5,36	7030	0,005	0,011	1	4,3	1,662595	891,15092	0,183%
28d	nativa	1,88	7030	0,005	0,003	1	2,72	0,286824	53,922912	0,011%
29e	pastagem	3,06	7030	0,005	0,011	1	4,67	1,8056555	552,530583	0,114%
29d	nativa	2,04	7030	0,005	0,003	1	3,26	0,343767	70,128468	0,014%
30e	nativa	2,77	7030	0,045	0,003	1	2,84	2,695302	746,598654	0,154%
30d	pastagem	6,14	7030	0,045	0,011	1	2,71	9,4303935	5790,261609	1,192%
31e	pastagem	9,14	7030	0,032	0,011	1	4,93	12,1995808	11150,41685	2,296%
31d	nativa	6,22	7030	0,032	0,003	1	1,79	1,2080352	751,3978944	0,155%
32e	nativa	15,95	7030	0,032	0,003	1	3,88	2,6185344	4176,562368	0,860%
32d	pastagem	9,98	7030	0,032	0,011	1	3,98	9,8487488	9829,051302	2,024%
33e	pastagem	0,36	7030	0,005	0,011	1	2,16	0,835164	30,065904	0,006%
33d	pastagem	5,76	7030	0,005	0,011	1	1,21	0,4678465	269,479584	0,055%
<b>Total</b>		<b>494,78</b>						<b>11,66</b>	<b>576738,50</b>	<b>100%</b>

Com a alteração de J4 provocada pela mudança no fator A, devido ao balanço de massa, foram obtidos os novos valores de calibração para os fluxos infiltração (J7), percolação (J11), recarga de aquífero (J15), descarga linear (J18) e descarga quadrática (J19): 1,76 E6, 7,97 E5, 7,86 E5, 2,44 E5, e 2,44 E5 m<sup>3</sup>.d<sup>-1</sup>, respectivamente.

Os valores iniciais de fluxo de água por capilaridade do solo (J5), do aquífero superficial (J10) e a troca entre o aquífero superficial e os canais de água (J16) também foram estimados como sendo 0,01 mm.d<sup>-1</sup>, baseado em dados de Tilley e Brown (2006). Considerando a área da bacia do Taquarizinho, estima-se que estes fluxos iniciais sejam da ordem 4,99 E3 m<sup>3</sup>.d<sup>-1</sup>. Os valores de evaporação do solo (J8), evaporação no canal (J9) e transpiração (J13), foram baseados no valor médio de evapotranspiração (J8+J9+J13) disponibilizados pelo produto MOD16A2 “MODIS subsetted land products” de satélites do Oak Ridge National Laboratory Distributed Active Archive Center (ORNL DAAC, 2010). O valor médio de evapotranspiração na área selecionada foi de 2,07 mm.d<sup>-1</sup>, ou seja J8+J9+J13=1,03 E6 m<sup>3</sup>.d<sup>-1</sup>.

O valor de produção de biomassa (J20) no modelo equivale ao fluxo J12 multiplicado pelo fator de conversão 50% entre biomassa seca e carbono. Através do MOD17A2 “MODIS subsetted land products” (ORNL DAAC, 2010), foi calculado o valor médio de GPP na bacia do Taquarizinho entre os anos de 2006 a 2008. Através dos dados observados entre o valor médio da produção primária bruta em toda a área selecionada, relativa a bacia do Taquarizinho foi de 18 kgC ha<sup>-1</sup> d<sup>-1</sup>, no entanto o valor de calibração ideal entre 2006-2008 foi de 15 kgC ha<sup>-1</sup>.d<sup>-1</sup>. Considerando toda a extensão da bacia, o valor de calibração para J12 foi de 1,50 E6 kg biomassa.d<sup>-1</sup>, em base de carbono, J20 = 7,48 E5 kgC d<sup>-1</sup>.

O valor de calibração para a respiração autotrófica foi estimado a partir de dados de produção primária líquida (NPP) do produto MOD17A3 da “MODIS subsetted land products” (ORNL DAAC, 2010), referente ao único município (Paraíso-MS) como dados a respeito de NPP na região, que apresenta uso do solo misto entre Cerrado e agropecuário, semelhante a bacia do Taquarizinho. Efetuando-se o cálculo para 2006-2008, a NPP média foi de 2734 kg C ha<sup>-1</sup> ano<sup>-1</sup>, que equivaleria a 7,49 kg C ha<sup>-1</sup>.d<sup>-1</sup>. Considerando-se o valor de *GPP* assumido acima (GPP=J20 =7,48 E5 kgC d<sup>-1</sup>), a respiração autotrófica de calibração será obtida, por definição, por J21= GPP-NPP, obtendo-se J21 = 3,74 E5 kg C d<sup>-1</sup>.

Em relação à produção de serapilheira e detritos (J22), a estimativa foi baseada em dados da literatura para deposição de biomassa acima do solo. Segundo Parron, Bustamante e Prado (2004), a produção de serapilheira em áreas de Cerrado em Mata de Galeria variou entre 6,1 e 7,2 toneladas de biomassa por hectare por ano, valor que é próximo a média de 7,8 toneladas para áreas de Cerradão. No entanto, para áreas de Cerrado típico, os valores são menores, variando entre 2,1 e 2,5 t ha<sup>-1</sup> ano<sup>-1</sup> (PERES et al. 1983; SILVA, 1983; NARDOTO, 2000; apud. PARRON, BUSTAMANTE e PRADO, 2004). Considerando o Cerrado típico, ou seja, de aproximadamente 2,5 toneladas de serapilheira produzidas por hectare ano, o valor médio diário seria de 7 kg de biomassa ou 3,5 kg C ha<sup>-1</sup> dia<sup>-1</sup>. No entanto, na bacia também existem áreas de pastagens e de agricultura. Em relação às pastagens, considerar-se-á a mesma taxa de produção de serapilheira do cerrado, ou seja, 3,5 kg C ha<sup>-1</sup> dia<sup>-1</sup>. Já para áreas de agricultura, a serapilheira produzida é relativa aos resíduos da colheita, que no modelo corresponde a aproximadamente 1 kg C ha<sup>-1</sup> dia<sup>-1</sup>. Portanto, o fluxo J22 corresponderá a média ponderada das taxas de Cerrado, pastagens e agricultura, onde os pesos serão as frações percentuais dos respectivos estoques de carbono na biomassa de cada tipo de cobertura<sup>14</sup>. Considerando que esta média é de 3,40 kg C ha<sup>-1</sup> dia<sup>-1</sup>, o fluxo J22 será de 1,69 E5 kg C por dia na bacia.

O valor de decomposição de serapilheira para atmosfera (J24) é um dado escasso pois, usualmente, o valor de fluxo de carbono do solo é um valor agregado, sem distinção do processo pelo qual foi obtido, que pode ser da decomposição da matéria orgânica acima do solo ou do estoque interno ao solo. Baseado em uma estimativa para simulação de Lapola (2007), na qual 30% da serapilheira é decomposta para a atmosfera, estimou-se que J24 equivale a trinta por cento de J22, ou seja, J24= 5,08 E4 kg C d<sup>-1</sup> em toda a Bacia do Taquarizinho. O valor remanescente do fluxo J22 será aquele fluxo que fornece carbono decomposto para ser incorporado ao solo (J23). Portanto, na calibração, J23=J22-J24 =1,19 E5 kg C d<sup>-1</sup>.

Dados sobre o valor de fluxo de metano (J26) são inexistentes na bacia. Como trata-se de uma área terrestre não sujeita a inundação, predominará a oxidação de metano por bactérias metanotróficas, em uma taxa sazonal, porém sempre positiva nos solos de cerrado e áreas agrícolas, de acordo com Cardoso et al. (2001). De acordo com

---

<sup>14</sup> No uso do solo de 2006-2008, o estoque de carbono na biomassa da Bacia era composta por 85% Cerrado, 4% agricultura e 11% pastagens. Portanto, a deposição de liteira foi estimada como  $0,85*3,5+0,04*1,0+0,11*3,5=3,40$  kg C ha<sup>-1</sup> dia<sup>-1</sup>.

esse trabalho, a taxa média de oxidação é de  $3,5 \text{ kgC ha}^{-1}\text{ano}^{-1}$ , que será extrapolada em base diária para toda a área da bacia na calibração, totalizando um fluxo  $J26= 4,78 \text{ E2 kgC d}^{-1}$ .

O valor de calibração para saída de carbono do solo via erosão hídrica (J27) foi obtido a partir do cruzamento das informações de conteúdo de carbono nos solos de Cerrado (GOEDERT, 1985) com as de cálculo de perda de solo da bacia, que apresenta quatro tipos de solo: Areia Quartzosa (AQ), Latossolo Vermelho Escuro (LE), Podzólico Vermelho (PV), e Litólico (R), que pode ser obtida através dos diferentes valores do parâmetro “K” (vindo da Equação Universal de Perda de Solo, USLE) referente ao tipo de solo da bacia do Taquarizinho. A Tabela 10 mostra como foi feita a estimativa de perda de carbono por tipo de solo na bacia do Taquarizinho. O valor total de *runoff* de carbono na bacia foi de 3.323,10 tC no ano de 2007, que equivale a uma taxa média diária de  $J27= 9,10 \text{ E3 kg C d}^{-1}$  para toda a bacia.

Tabela 10. Cálculo da perda de carbono via runoff na bacia do Taquarizinho (ano base 2007).

<b>Tipo de solo</b>	<b>AQ</b>	<b>LE</b>	<b>PV</b>	<b>R</b>
Área na bacia (km <sup>2</sup> )	256,53	113,02	41,29	83,94
Perda anual solo (ton solo)	488.484,00	51.549,00	25.907,00	10.799,00
%C (g C/g solo) <sup>a</sup>	0,5%	0,9%	0,9%	1,7%
Runoff anual carbono (t C)	2.442,42	463,94	233,17	183,58

<sup>a</sup> Valores estimados para Cerrado, segundo Goedert (1985).

Os fluxos de saída de carbono via queimadas (J28) e via colheita (J29) serão assumidos como zero somente na etapa de calibração. No entanto, na etapa de simulação, o incêndio (J28) considerará a perda de 35% do carbono aéreo (AGBC e LC) acumulado sobre 15% das áreas com fisionomia de Cerrado e pastagens, que acontecerá entre os dias 1 a 7/07/2007, no auge da estiagem. Levando-se em conta o valor de carbono acumulado acima do solo na vegetação e na serapilheira até o dia 31 de junho de 2007 (vegetação nativa e pastagens, totalizando  $2,46 \text{ E7 kgC}$ ), as retiradas de carbono ocorrerão em uma taxa de  $3,51 \text{ E6 kg C}$  por dia, ao longo de sete dias. Considerou-se apenas um evento de queimada entre os anos de 2006-2008, baseado no período de recorrência predominante de fogo em Cerrado de Rivera-Lombardi (2003), de um evento de queimada a cada três anos.

No caso da colheita (J29), seu valor é zero na calibração, pois trata-se de um evento isolado no tempo. No entanto, durante a simulação, existem duas colheitas a cada ano, uma para a soja de verão e outra para o milho no inverno, com duração máxima de 13 dias para cada estação. Como na Bacia do Taquarizinho existe a adoção do plantio direto (PD), cada colheita não remove todo o carbono do sistema, apenas colhe-se os grãos, e deixando sobre o solo o restante da biomassa. Nesse estudo será considerado que 40% do carbono é relacionado ao material colhido e os restantes 60% são a biomassa residual não aproveitável como alimento (CAVALETT, 2008) que ficará depositada sobre o solo. Para as áreas com plantio convencional (PC), que compreendem cerca de 50% das áreas da bacia<sup>15</sup>, será considerado que todo o carbono acumulado acima do solo é removido do sistema com o evento de colheita. Essa consideração está baseada no fato em que os sistemas convencionais de cultivo, que envolvem aração e gradagem, são aqueles que ocasionam maior degradação do solo, resultando na maioria das vezes na redução do seu teor de matéria orgânica (MOS). Estas perdas de MOS são incrementadas quando do revolvimento do solo e conseqüente rompimento dos agregados, maior fragmentação e incorporação dos resíduos e diminuição da cobertura do solo (Bayer & Mielniczuk, 1999; Roscoe et al., 2006, apud. Oliveros, 2008). Segundo Rosa (2008), o PD preserva os teores de carbono orgânico total e em todas as frações húmicas, enquanto o PC provoca perdas de carbono orgânico total, sendo que essas perdas se verificam em todas as frações húmicas. Visto que a prática de revolvimento pode promover a perda do carbono já contido nas camadas profundas do solo sob PC, será considerado que não há adição de carbono superficial para o solo sob plantio convencional após a colheita. Os períodos de colheita da safra de verão ocorrerão anualmente, de 19/03 a 31/03, totalizando 13 dias; no caso da safra de inverno, a colheita foi programada para 19/09 a 1/10. A cada período de colheita (13 dias), cerca de 2,14 E6 kg C são retirados das áreas agrícolas.

No caso das pastagens, existem na bacia aquelas degradadas e sob boas condições manejo. Assim, para as pastagens degradadas (cerca de 50% das pastagens da bacia), será considerado que todo carbono produzido diariamente será consumido pelo

---

<sup>15</sup> Estimativa baseada em visita a Bacia do Taquarizinho entre os dias 10/04/2012 a 12/04/2012, realizada no período de colheita da safra de verão, onde foram observadas propriedades gerenciadas com e sem adoção de plantio direto, cuja proporção não foi mensurada detalhadamente, no entanto observou-se que cerca de metade das áreas deixaram toda a biomassa residual da colheita sobre o solo. A mesma proporção foi observada para as pastagens, ou seja, cerca de metade estavam sob condições de degradação e, a parte restante, sob condições de manejo tais como correção do solo e reforma da pastagem.

rebanho existente, ou seja, há uma condição em que a biomassa adicionada é totalmente consumida no sistema. Para o caso das pastagens sob boas condições de manejo, considerar-se-á que o gado é apenas capaz de retirar metade da biomassa produzida diariamente no pasto. Trata-se de uma estimativa de consumo que pode ser refinada futuramente, sendo que a intenção principal é enriquecer o exercício da modelagem considerando as diferentes condições de degradação dos sistemas de pastagens da bacia. A taxa diária de colheita pelos animais dependerá, portanto, do valor de biomassa bruta produzida (GPP) em áreas de pastagem<sup>16</sup>.

O valor de respiração do carbono contido no solo (J25) é calculado, finalmente, a partir da equação geral de balanço de carbono na bacia do Taquarizinho (equação 29). Isso se deve ao fato da necessidade do modelo representar um balanço de massa para o carbono, além da escassez de dados locais de fluxo de CO<sub>2</sub> somente do solo na literatura a qual, usualmente, agrega o fluxo de decomposição da serapilheira e da matéria orgânica do interior do solo em um só valor. Na equação abaixo, todos os fluxos de calibração já foram definidos, exceto J25 e NCE. O valor de troca líquida de carbono na bacia (NCE) é sazonal em um ecossistema, podendo admitir valores positivos (sumidouro de carbono) e negativos (emissor) de acordo com a época do ano. De acordo Rocha et al. (2002), para áreas de Cerrado típico, o NCE estaria entre 0,1-0,3 tC ao final de uma ano, com períodos de sequestro de 40 kgC ha<sup>-1</sup>d<sup>-1</sup> e emissões de 25 kgC ha<sup>-1</sup>d<sup>-1</sup>. Para a calibração, o NCE foi estimado em 0 tC ha<sup>-1</sup>ano<sup>-1</sup>, pois assume-se que alteração no uso e ocupação do solo diminui o potencial do sistema em adicionar carbono a bacia do Taquarizinho. Este valor é apenas utilizado na calibração, sendo que ao longo da simulação do modelo, será mostrada a dinâmica diária de seu valor, que assumirá valores positivos e negativos diários, como será mostrado mais adiante.

A partir da equação 29, pode-se calcular J25 da calibração. Considerando NCE como 0 kgC d<sup>-1</sup> para toda a área da bacia, J25 será 1,95 E5 kgC d<sup>-1</sup>. Esse valor de calibração, em base diária (dividindo por 365 dias), seria de 4 kgC ha<sup>-1</sup>d<sup>-1</sup>. Tal magnitude de fluxo é razoável para respiração do carbono do solo, vistos os valores médios anuais em Cerrado descrito por Poggiani et al. (1977) de 5,81 kgC ha<sup>-1</sup>d<sup>-1</sup> e de Ferreira et al. (2005), para Cerrado s.s., cujo fluxo médio anual 6,21 kgC ha<sup>-1</sup>d<sup>-1</sup>.

---

<sup>16</sup> Em 2006-2008, 11% do estoque de carbono total da bacia corresponde às pastagens. Para o cálculo da consumo em áreas de pastagens será considerado que a produção diária bruta das pastagens é de 11% do GPP da bacia.

De maneira similar ao modelo hidrológico, os valores de temperatura diurna da superfície (T) e índice de área foliar (LAI) foram obtidos para a bacia do Taquarizinho através do sistema de informações MOD11A2 e MOD15A2 (ORNL DAAC, 2010). O valor médio da temperatura diurna obtida, usado na calibração, foi de 30,1 °C, e o índice de área foliar médio, foi de 1,25. O resumo dos valores de calibração para o modelo hidro-carbono está apresentado na Tabela 11, que agrega valores de fluxos médios e estoques iniciais para a obtenção dos coeficientes.

#### *4.13 Validação do modelo hidro-carbono 2006-2008*

Nesta etapa de validação, avaliar-se-á a capacidade do modelo em gerar resultados de magnitudes coerentes quando comparadas àquelas observadas na realidade. Dessa forma, o modelo hidro-carbono foi alimentado com os valores de pluviosidade diária observados na estação pluviométrica código 1854002 (ANA, 2011) entre os anos de 2006, 2007 e 2008, totalizando 1096 dias. Como o modelo hidrológico encontra-se previamente validado para vazão e umidade do solo entre os anos 1995-1996 (dados da ANA e Inmet), a presente etapa de validação utilizou parâmetros diferentes de validação, visando enriquecer a compreensão sobre o potencial do modelo em gerar respostas em relação a outros fluxos simulados. Devido à disponibilidade de dados do projeto LAND MODIS (ORNL DAAC, 2010) para os anos 2000 a 2011, a validação utilizou dados levantados de fluxos na bacia do Taquarizinho no período de 2006-2008 para a evapotranspiração (MOD16A2) e produção primária bruta ou GPP (MOD17A2).

Tabela 11. Descrição das informações de entradas, fluxos e estoques para calibração de modelo hidrocarbono, anos 2006-2008.

Nota	Descrição	Variável	Equação	Calibração			Referência
				Valor	Unidade	Valor de k	
<b>Entradas</b>							
1	Precipitação	R	-	1396	mm.ano <sup>-1</sup>		ANA (2011)
2	Luz solar	S	-	1	adimensional		Tilley e Brown (2006)
3	Escoamento de base	CF+GW	-	3,97 E5	m <sup>3</sup> .d <sup>-1</sup>		ANA (2011)
4	Temperatura	T	-	30,1	°C		ORNL DAAC (2010)
5	Índice de área foliar	LAI	$1,2+ 0,4*\text{sen}[(\pi*(d+22,7)*178)]$	1,25	adimensional		ORNL DAAC (2010)
<b>Fluxos</b>							
6	Volume de chuva precipitada	J2	$k_2*R*AU$	1,91 E6	m <sup>3</sup> .d <sup>-1</sup>	1	ANA (2011)
7	Escoamento superficial	J4	$k_4*SD^2$	9,06 E4	m <sup>3</sup> .d <sup>-1</sup>	2,77 E-9	Barsanti et al. (2003)
8	Ação da capilaridade vertical	J5	$k_5*(USM-SD)$	4,99 E3	m <sup>3</sup> .d <sup>-1</sup>	8,44 E-5	Tilley e Brown (2006)
9	Infiltração no solo	J7	$k_7*SD$	1,77E6	m <sup>3</sup> .d <sup>-1</sup>	3,09 E-1	Balanço, J2+J5-J4-J8
10	Evaporação no terreno	J8	$k_8*SD*JR1$	4,99 E4	m <sup>3</sup> .d <sup>-1</sup>	1,34 E-2	ORNL DAAC (2010)
11	Evaporação no canal	J9	$k_9*SD*JR2$	1,13 E4	m <sup>3</sup> .d <sup>-1</sup>	1,71 E-2	ORNL DAAC (2010)
12	Ação da capilaridade vertical	J10	$k_{10}*(SA-USM)$	4,99 E3	m <sup>3</sup> .d <sup>-1</sup>	5,88 E-5	Tilley e Brown (2006)
13	Insolação no terreno	JR	$1+0,25*\text{sen}[\pi*(d)/180]$	0,65	adimensional	-	Tilley e Brown (2006)
14	Percolação para o lençol	J11	$k_{11}*USM$	7,97 E5	m <sup>3</sup> .d <sup>-1</sup>	1,23 E-2	Balanço, J7-J13
15	Produção bruta terrestre	J12	$k_{12}*USM*JR*BU*LAI$	1,50 E6	kg.d <sup>-1</sup>	1,64 E-11	ORNL DAAC (2010)
16	Transpiração terrestre	J13	$k_{13}*USM*JR1*BU*LAI$	9,70 E5	m <sup>3</sup> .d <sup>-1</sup>	1,33 E-11	ORNL DAAC (2010)
17	Perda de biomassa terrestre	J14	$(J21+J22)*2$	1,09 E6	kg.d <sup>-1</sup>	-	Modelo hidro-carbono
18	Saída do aquífero superficial	J15	$k_{15}*SA$	7,86 E5	m <sup>3</sup> .d <sup>-1</sup>	5,25 E-3	Balanço, entrada=saída
19	Troca aquífero/canal	J16	$k_{16}*[(\Delta SA-\Delta CW)]$	4,99 E3	m <sup>3</sup> .d <sup>-1</sup>	-1,14 E-3	Tilley e Brown (2006)
20	Descarga do canal (linear)	J18	$k_{18}*CW$	2,44 E5	m <sup>3</sup> .d <sup>-1</sup>	2,40 E-1	Assumiu-se 50% descarga
21	Descarga do canal (quadrática)	J19	$k_{19}*CW^2$	2,44 E5	m <sup>3</sup> .d <sup>-1</sup>	2,36 E-7	Assumiu-se 50% descarga

Cont.Tabela 11. Informações de entradas, fluxos e estoques para modelo hidrocarbono da bacia do Taquarizinho, anos 2006-2008.

Nota	Descrição	Variável	Equação	Calibração			Referência
				Valor	Unidade	Valor de k	
22	Fotossíntese (GPP)	J20	$k_{20}.USM.JR.CB.LAI$	7,48 E5	kgC d <sup>-1</sup>	2,05 E-11	ORNL DAAC (2010)
23	Respir. Autótrofa	J21	$k_{21}.CB.T.(1-e^{-0,5.LAI})$	3,74 E5	kgC d <sup>-1</sup>	3,09 E-5	Estimado por NPP, ORNL DAAC (2010)
24	Produção de LDC	J22	$k_{22}.CB.LAI^{-1}$	1,69E5	kgC d <sup>-1</sup>	2,45 E-4	Parron, Bustamante e Prado (2004)
25	Carb. LDC p/ solo	J23	$k_{23}.LDC.J22$	1,19 E5	kgC d <sup>-1</sup>	1,87 E-6	Balanço, J23=J22-J24
26	Respiração LDC	J24	$k_{24}.ET.USM.LDC.2^{0,1(T-25)}$	5,08 E4	kgC d <sup>-1</sup>	7,11 E-10	Estimado, Lapola (2007)
27	Respiração solo	J25	$k_{25}.SC.USM.2^{0,1(T-25)}$	1,95 E5	kgC d <sup>-1</sup>	4,24 E-13	J25=NCE-(J20+J26-J22-J23-J24 -J27-J28-J29)
28	Oxidação metano	J26	$k_{26}.J25.USM^{-1}JR^{-1}$	4,78 E2	kgC d <sup>-1</sup>	1,33 E5	Estimado, Cardoso et al. (2001)
29	Runoff carbono	J27	$k_{27}.J4.SC$	9,10 E3	kgC d <sup>-1</sup>	2,02 E-11	USLE, Goedert (1985)
Estoques							
30	Biomassa terrestre por m <sup>2</sup>	BU	-	1,73 E9	kg	-	Bustamante et al.(2006), Fearnside (1996), e Cavalett (2008)
				3,47	kg.m <sup>-2</sup>	-	
31	Carbono biomassa aéreo	BC	-	8,66 E8	kg C	-	-
		AGBC	-	4,25 E8	kg C	-	Batle-Bayer, Batjes e Bindraban (2010)
	subterrânea	BGBC	-	4,40 E8	kg C	-	Batle-Bayer, Batjes e Bindraban (2010)
32	Carbono do solo	SC	-	4,99 E9	kg C	-	Brossard et al. (1997), Braz et al. (2004)
33	Carbono liteira	LDC	-	3,74 E5	kg C	-	Aduan, Klink e Davidson (2002)
	Liteira acima solo	LC	40 % LDC	1,84 E5	kg C	-	Estimado, Batle-Bayer et al. (2010)
	Detrito subterrâneo	DC	60% LDC	1,90 E5	kg C	-	Estimado, Tilley e Brown (2006)
34	Estoque superficial	SD	área x profundidade	5,72 E6	m <sup>3</sup>	-	ANA (2011)
	profundidade média		-	11,48	mm	-	-
35	Umidade do solo	USM	área x profundidade	6,48 E7	m <sup>3</sup>	-	Inmet (2010)
	profundidade média		-	130	mm	-	-
36	Volume do lençol	SA	área x prof.x poros.	1,50 E8	m <sup>3</sup>	-	Girard et al. (2003), Manzione (2007)
	profundidade média		-	2	m	-	Estimado
	porosidade média		-	15	%	-	Gastmans et al. (2010)

37	Água nos Canais	CW	comp.x prof.x largura	1,02 E6	m <sup>3</sup>	-	Embrapa CNPTIA (2011)
	Comprimento total		-	249.673	m	-	Embrapa CNPTIA (2011)
	profundidade		-	0,45	m	-	Ide e Ribeiro (2009)
	largura		-	9,05	m	-	Ide e Ribeiro (2009)
	Área da bacia	AU	-	498.514.329	m <sup>2</sup>	-	-
	Mata Nativa	AN	-	210.980.000	m <sup>2</sup>	-	Embrapa CNPTIA (2011)
	Agricultura (soja)	AA	-	101.776.000	m <sup>2</sup>	-	Embrapa CNPTIA (2011)
	Pastagens	AP	-	183.325.000	m <sup>2</sup>	-	Embrapa CNPTIA (2011)

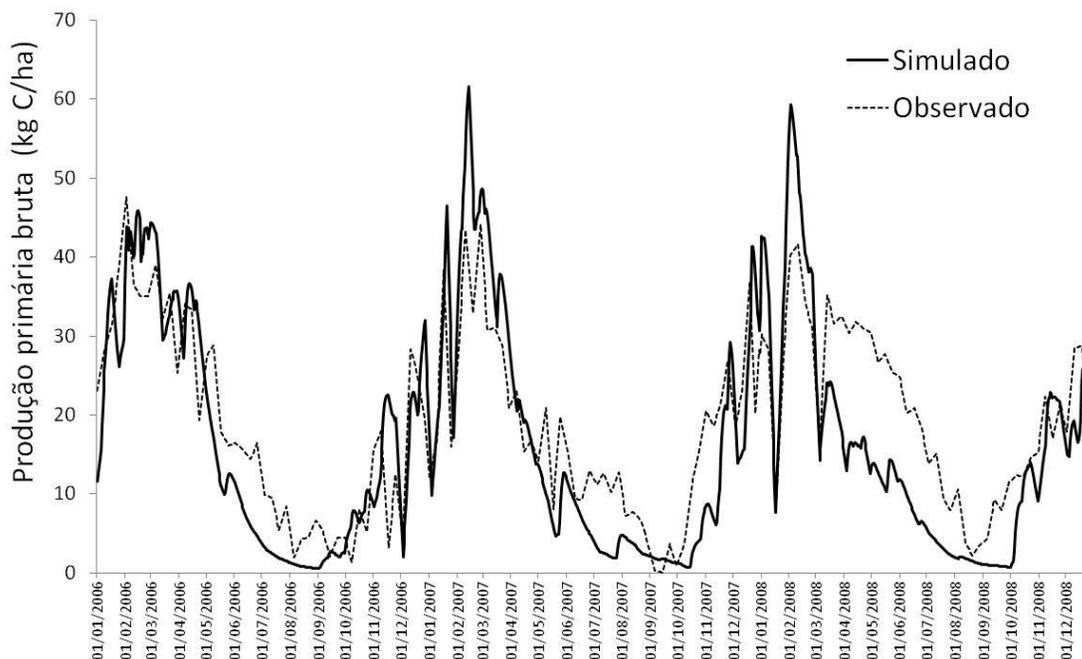


Gráfico 19. Comparação entre produção primária bruta diária simulada (linha cheia) e observada (linha tracejada) na Bacia do Taquarizinho entre os anos 2006-2008.

Primeiramente, confrontaram-se os dados simulados e observados de Produção Primária Bruta na bacia do Taquarizinho. Observando o Gráfico 19, é possível notar que o modelo gera um resultado aceitável para produção primária bruta diária, visto que as curvas de GPP simulado (linha cheia) e observado na bacia do Taquarizinho (linha tracejada) apresentam sincronia de picos e vales, além de magnitudes de fluxo similares, oscilando entre valores próximos a  $0,5 \text{ kg C ha}^{-1}\text{d}^{-1}$  no inverno, e de até  $50 \text{ kg C ha}^{-1}\text{d}^{-1}$  durante o verão, quando existe mais água disponível no solo e condições favoráveis de luz e temperatura para a fotossíntese. Para o período de 1096 dias simulados, o modelo gerou valores coerentes com a realidade, exceto entre os dias 10/03/08 e 30/09/08, quando o valor de GPP simulado encontrou-se abaixo do observado na bacia do Taquarizinho. No entanto, não se pode afirmar que trata-se de uma falha isolada do modelo, visto que o GPP é influenciado pela pluviosidade diária. Devido a esse desvio inesperado, pode-se levantar a hipótese de que alguns eventos de precipitação possam ter ocorrido na bacia entre os dias 10/03/08 e 30/09/08, porém existe a possibilidade de não terem sido captados pela estação pluviométrica existente em Rio Verde de Mato Grosso-MS (ANA, código 1854002). Dessa maneira, a simulação da produção primária

bruta pode ter sido subestimada devido à omissão de pluviosidade, explicando o erro relativo médio de 59 % entre dados simulados e observados de GPP para 1096 dias.

No entanto, levando-se em conta a produção primária acumulada ao longo dos três anos de simulação, percebe-se que o modelo consegue reproduzir de maneira satisfatória o total de carbono fixado em média por hectare, como mostrado no Gráfico 20, abaixo. Observa-se que até o dia 10/03/2008, o modelo apresentou um valor de GPP acumulado bastante satisfatório, gerando uma diferença no acumulado até o primeiro ano de 7,9% e, até o segundo ano, de 8,0%. Entre os dias 10/03/08 e 30/09/08, novamente, há uma perceptível queda nos valores de GPP acumulado simulado, fazendo com que o desvio percentual ao final do terceiro ano de simulação atingisse 14,3%.

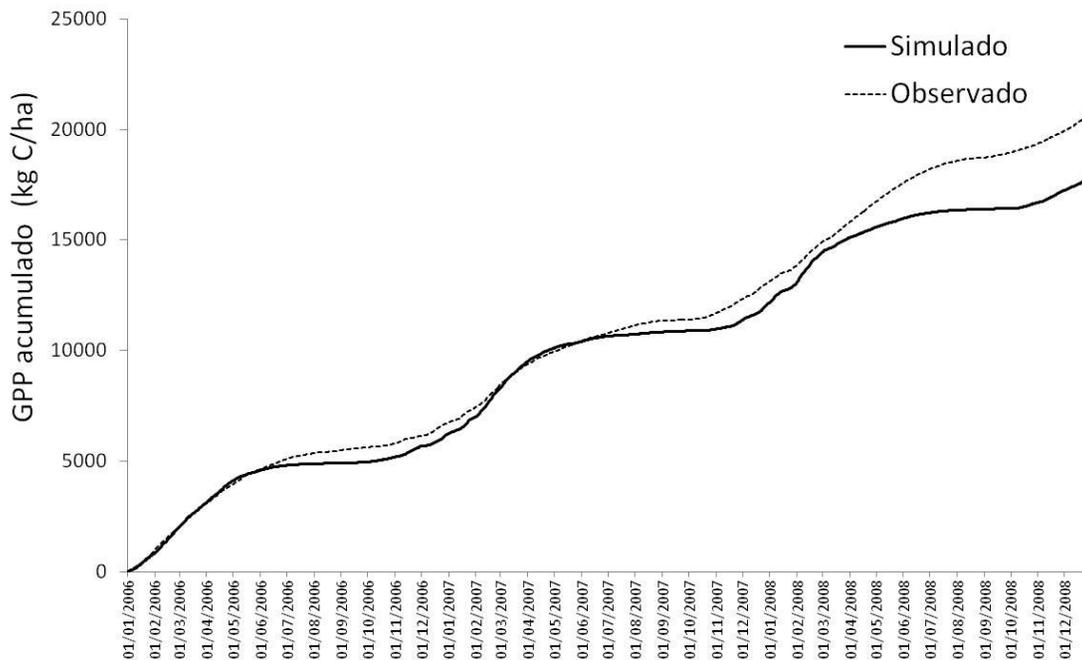


Gráfico 20. Representação dos valores acumulados de GPP observado (linha tracejada) e simulado (linha cheia) na Bacia do Taquarizinho entre os anos 2006-2008.

Por fim, no Gráfico 21, confrontam-se os dados simulados e observados para os fluxos referentes à evapotranspiração na bacia. Observa-se uma sincronia satisfatória entre os picos e vales de ambas as curvas, quando os valores máximos de ambas ocorrem no pico da época das chuvas, e os mínimos no auge da estiagem na bacia. Apesar do modelo gerar valores simulados superestimados no período de pico (verão) e subestimados nos períodos de inverno, os valores para a primavera e outono são

similares, de maneira a conduzir o erro relativo total para 37,4%, levando-se em conta a média aritmética do módulo dos erros percentuais calculados para os 1096 dias. Novamente, observa-se que o período entre os dias 10/03/08 e 30/09/08, o valor da evapotranspiração simulada é menor que a da medida na bacia, possivelmente dada a limitação de informações da estação pluviométrica.

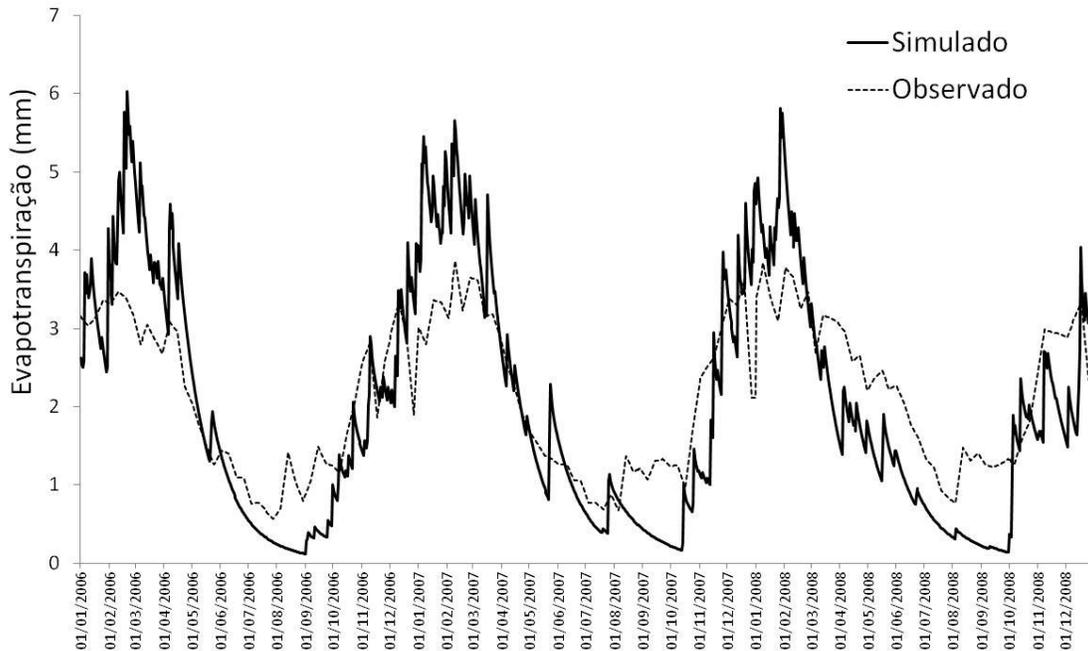


Gráfico 21. Comparação entre evapotranspiração diária simulada (linha cheia) e observada (linha tracejada) na bacia do Taquarizinho entre os anos 2006-2008.

Observando-se o Gráfico 22, de evapotranspiração acumulada, é possível observar que o modelo reproduz de maneira adequada o somatório diário de fluxos ao longo do tempo. Apesar das super e subestimações mostradas pelos gráficos anteriores, ao final do primeiro ano, a diferença entre as ETs simulada e observada foi próxima a 2%; ao final do segundo ano, a diferença é reduzida para 1,5 %. No entanto, a partir do dia 800, a evapotranspiração simulada começa a cair de maneira mais pronunciada, fazendo com que, ao final do terceiro ano, a diferença entre os acumulados simulados e observados atinja 6,37%.

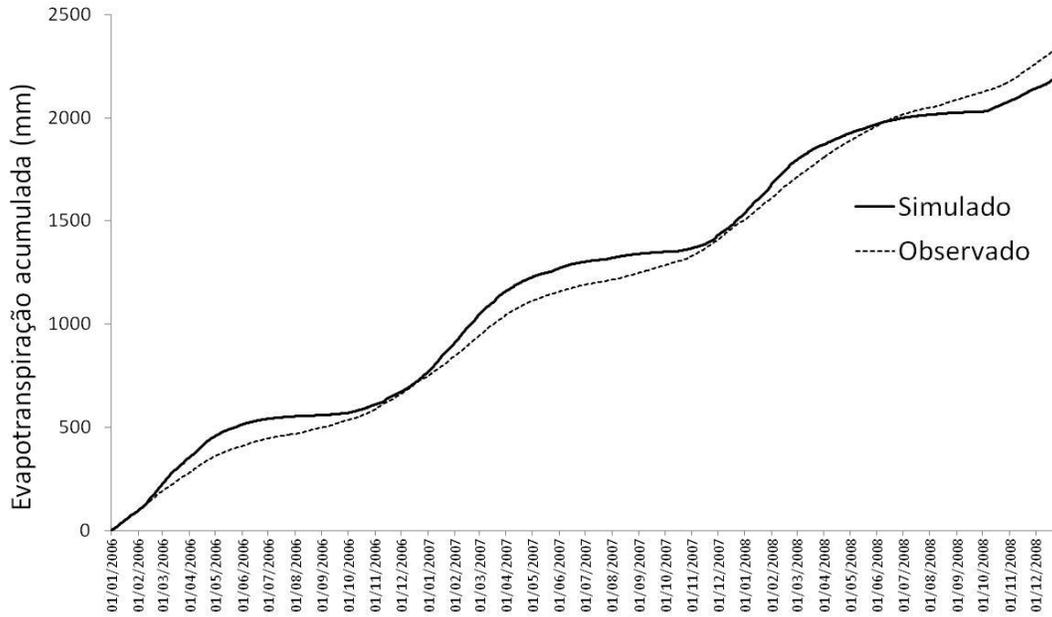


Gráfico 22. Comparação entre evapotranspiração acumulada simulada (linha cheia) e observada (linha tracejada) na Bacia do Taquarizinho entre os anos 2006-2008.

Através da comparação realizada entre dados simulados e observados na bacia do Taquarizinho ao longo de três anos (2006-2008), pode-se considerar que o modelo tem um bom desempenho em relação à modelagem de produção primária bruta e de evapotranspiração. Como visto nas etapas de validação do modelo hidrológico e do modelo hidrocarbono, o desvio médio percentual para descarga pelo canal, umidade do solo, evapotranspiração é da ordem de 30% (em módulo), quando o intervalo de tempo está em base diária. No entanto, é possível notar que quando se leva em consideração a simulação para maiores períodos (2 ou 3 anos), as super e subestimações vão se anulando entre si ao longo do tempo, de maneira a reduzir de maneira importante as distâncias entre os valores acumulados, aproximando as respostas da simulação àquelas observadas na realidade. Este comentário é bastante relevante pois, em se tratando de um modelo para fluxos biogeoquímicos, cujo balanço de massa é geralmente descrito na literatura em base anual, é de suma importância que os fluxos simulados acumulados se assemelhem ao máximo aqueles observados na bacia, ao menos em base anual. Dentro desse contexto, pode-se assumir que o modelo hidro-carbono gera respostas dentro de um limite aceitável de desvio, e que reproduz a sazonalidade dos eventos de maneira satisfatória. Além disso, os resultados descritos a seguir em relação aos cálculos do modelo para produção primária líquida (NPP) e de troca líquida do ecossistema (NCE)

demonstram o potencial do modelo em representar adequadamente a dinâmica de sequestro e emissão líquida diária de carbono na biomassa e na bacia do Taquarizinho.

## **5. RESULTADOS**

### *5.1 Impacto do uso e ocupação do solo nos serviços hidrológicos*

O objetivo desta seção é definir de que maneira os valores monetários calculados anteriormente para os serviços de evapotranspiração, descarga pelo canal e recarga de aquífero podem ser empregados de maneira factível em políticas públicas para estimar o impacto positivo ou negativo de uma determinada intervenção de mudança no uso do solo nos serviços hidrológicos em uma bacia.

A limitação de utilização prática dos cálculos realizados nas seções anteriores é que os valores dos fluxos hidrológicos de uma bacia gerarão sempre valores positivos de energia e, portanto, serão sempre positivos em equivalentes monetários. Aparentemente, quanto maior o valor (EM\$) de determinado serviço hidrológico na bacia, maior o incremento ao bem-estar humano, devido ao fato de que a maior disponibilidade de água gera maior oportunidades de desenvolvimento local. No entanto, existem fluxos cuja maximização em seu valor pode causar um efeito inverso. O serviço de descarga superficial, por exemplo, se for aumentado indiscriminadamente após a eliminação da cobertura vegetal e da crescente impermeabilização do solo, estará associado não mais a um incremento no bem-estar humano, pois a não regulação do fluxo nos canais terá como consequências os fenômenos de enchentes, assoreamento do leito dos rios, elevada erosão hídrica do solo, diminuição da qualidade da água, etc.

No caso da maximização da evapotranspiração, o incremento da água na atmosfera, por si só, não é capaz de reduzir o bem-estar humano. A evapotranspiração é um mecanismo importante da regulação do mesoclima, pois a absorção do calor latente do ambiente para vaporizar a água promove uma diminuição da temperatura do ar (WANG et al., 2007; JIM e CHEN, 2009). Adicionalmente, a transferência de água para atmosfera aumenta a umidade relativa do ar nas vizinhanças (JIM E CHEN, 2009), também responsável por criar um efeito positivo sobre para o ecossistema. Apesar disso, é difícil precisar se o incremento indiscriminado da evapotranspiração é apenas promotor de benefício. Deve-se salientar que a evapotranspiração é uma das principais saídas de água estocada no solo, e taxas diárias muito elevadas podem contribuir para um déficit

hídrico na bacia capaz de comprometer as formas de vida vegetal e animal na escala local, que dependem da manutenção de um nível mínimo de umidade do solo.

A recarga de aquífero, por sua vez, é um serviço cuja maximização é de interesse para o bem-estar humano, pois alimenta nascentes de cursos d'água e estoques subterrâneos, ambos explorados por cidades, indústrias e zonas agropecuárias. Diferentemente da descarga superficial e da evapotranspiração, cujos fluxos podem ser aumentados ao longo da conversão de cobertura vegetal nativa em áreas de uso agropecuário ou urbano, a recarga de aquífero é somente diminuída após a intervenção nas condições primitiva da bacia. Isso porque a eliminação da cobertura vegetal leva ao aumento do escoamento superficial e pode aumentar a evaporação no solo, e, segundo a equação de balanço hídrico, quanto mais a água da precipitação é evapotranspirada e destinada aos canais (escoamento superficial), menos água estará disponível para a percolação e a recarga de aquífero.

Torna-se imprescindível, portanto, a definição de qual o nível ótimo para o fluxo para os serviços ecossistêmicos na bacia do Taquarizinho. Neste trabalho, estimar-se-ão os fluxos ideais da bacia ao considerar, no modelo hidrológico, um cenário para o Taquarizinho completamente dominado por vegetação nativa (Cerrado s.s.). Essa consideração se deve à ausência de registros históricos de fluxos de evapotranspiração, descarga superficial e recarga de aquífero em épocas anteriores a ocupação por uso agropecuário na bacia na década de 1960. Denominando tal cenário como "Preservado", o modelo hidrológico será rodado com as mesmas entradas do modelo (R, CF+GW, LAI, T) e com os mesmos parâmetros de 1995-1996, exceto aqueles automaticamente recalculados devido à mudança na cobertura e uso do solo, tais como: o fator A (USLE), e aqueles fluxos e coeficientes de calibração alterados devido à mudança no fluxo J4, o qual afeta todas as componentes do balanço de massa da bacia. Os valores de estoques iniciais serão os mesmos, exceto o valor da biomassa (BU), que foi corrigido considerando-se apenas área com Cerrado s.s. (ver Tabela 13).

Analogamente às seções anteriores, deve-se realizar o cálculo do parâmetro A (USLE) para a estimativa de J4. Nesse caso, para o cenário "Preservado" existirá o total predomínio de mata nativa na bacia (AN, 100% da área total), com proporções nulas para pastagens (AP, 0%) e agricultura (AA, 0%). A Tabela 12 apresenta o cálculo do fator de perda de solo, que fornece uma perda de solo média anual de 160.072,73 toneladas em suas condições primitivas, considerando todas as 33 sub-bacias sob o índice de  $C=0,003$

e  $P=1$ . Considerando a área total da bacia, a perda de solo média foi de  $\bar{A} = 3,24$  toneladas por hectare ao ano, que pode ser entendida como a perda natural de solo da região, tendo-se como base a pluviosidade dos anos 1995-1996. Portanto, utilizando-se da equação 24, estima-se o valor de  $J4$  de calibração a partir da perda de solo média  $\bar{A}$  e mantendo-se fixo o fator  $k_w$ :

$$J4 = k_w \cdot \bar{A} = 7770,16 \frac{m^3 ha}{ton \cdot d} \cdot 3,24 \frac{ton}{ha} = 2,51 E4 \frac{m^3}{d}$$

As implicações da mudança de  $A$  (USLE) para a calibração do modelo estão reunidas na Tabela 13, onde foram modificados os fluxos  $J4$ ,  $J7$ ,  $J11$ ,  $J15$ ,  $J18$  e  $J19$ . Como esperado, o aumento em  $J4$  provoca a diminuição de  $J7$ ,  $J11$ ,  $J15$ ,  $J18$  e  $J19$  dada uma mesma pluviosidade, alterando seus respectivos coeficientes  $k_4$ ,  $k_7$ ,  $k_{11}$ ,  $k_{15}$ ,  $k_{18}$ ,  $k_{19}$ . No entanto, após a calibração, o modelo é rodado e os resultados, em base diária, se modificam completamente para todos os estoques e fluxos.

Tabela 12. Fatores da equação USLE baseado em Bacchi (2007) adequados para ocupação integral por vegetação nativa, cenário Preservado.

Sub-bacia	Uso	Área (km <sup>2</sup> )	R	K	C	P	L.S	A (ton/ha/ano)	Perda(ton/ano)	% Perda
1e	nativa	12,47	7030	0,016	0,003	1	0,49	0,1653456	206,1859632	0,042%
1d	nativa	6,73	7030	0,016	0,003	1	0,42	0,1417248	95,3807904	0,020%
2e	nativa	8,63	7030	0,016	0,003	1	2,57	0,8672208	748,4115504	0,154%
2d	nativa	2,67	7030	0,016	0,003	1	2,72	0,9178368	245,0624256	0,050%
3e	nativa	6,54	7030	0,016	0,003	1	3,87	1,3058928	854,0538912	0,176%
3d	nativa	1,08	7030	0,016	0,003	1	1,84	0,6208896	67,0560768	0,014%
4e	Nativa	15,08	7030	0,016	0,003	1	0,91	0,3070704	463,0621632	0,095%
4d	nativa	8,85	7030	0,016	0,003	1	1,05	0,354312	313,56612	0,065%
5e	nativa	8,84	7030	0,016	0,003	1	1,04	0,3509376	310,2288384	0,064%
5d	nativa	8,72	7030	0,016	0,003	1	2,69	0,9077136	791,5262592	0,163%
6e	nativa	12,45	7030	0,016	0,003	1	2,2	0,742368	924,24816	0,190%
6d	nativa	3,55	7030	0,016	0,003	1	1,35	0,455544	161,71812	0,033%
7e	nativa	3,31	7030	0,016	0,003	1	2,59	0,8739696	289,2839376	0,060%
7d	nativa	3,63	7030	0,016	0,003	1	2,34	0,7896096	286,6282848	0,059%
8e	nativa	7,65	7030	0,005	0,003	1	10,15	1,0703175	818,7928875	0,169%
8d	nativa	2,4	7030	0,016	0,003	1	4,5	1,51848	364,4352	0,075%
9e	nativa	5,96	7030	0,005	0,003	1	16,83	1,7747235	1057,735206	0,218%
9d	nativa	1,95	7030	0,005	0,003	1	5,75	0,6063375	118,2358125	0,024%
10e	nativa	4,92	7030	0,045	0,003	1	2,19	2,0784195	1022,582394	0,211%
10d	nativa	1,54	7030	0,045	0,003	1	3,87	3,6728235	565,614819	0,116%
11e	nativa	5,42	7030	0,045	0,003	1	5,88	5,580414	3024,584388	0,623%
11d	nativa	6,09	7030	0,045	0,003	1	2,45	2,3251725	1416,030053	0,292%
12e	nativa	9,66	7030	0,045	0,003	1	4,38	4,156839	4015,506474	0,827%
12d	nativa	4,92	7030	0,005	0,003	1	2,85	0,3005325	147,86199	0,030%
13e	nativa	11,19	7030	0,045	0,003	1	6,32	5,997996	6711,757524	1,382%
13d	nativa	9,79	7030	0,005	0,003	1	6,62	0,698079	683,419341	0,141%
14e	nativa	3,28	7030	0,045	0,003	1	3,18	3,017979	989,897112	0,204%
14d	nativa	7,81	7030	0,005	0,003	1	8,38	0,883671	690,147051	0,142%
15e	nativa	4,61	7030	0,045	0,003	1	6,83	6,4820115	2988,207302	0,615%
15d	nativa	6,26	7030	0,045	0,003	1	4,32	4,099896	2566,534896	0,528%
16e	nativa	18,45	7030	0,045	0,003	1	8,78	8,332659	15373,75586	3,165%
16d	nativa	27,01	7030	0,045	0,003	1	4,03	3,8246715	10330,43772	2,127%
17e	nativa	20,37	7030	0,045	0,003	1	11,26	10,686303	21767,99921	4,481%

Tabela 12. Cont. Fatores da equação USLE baseado em Bacchi (2007) adequados para ocupação integral por vegetação nativa, cenário Preservado.

Sub-bacia	Uso	Área (km <sup>2</sup> )	R	K	C	P	L.S	A (ton/ha/ano)	Perda(ton/ano)	% Perda
17d	nativa	13,64	7030	0,045	0,003	1	0,58	0,550449	750,812436	0,155%
18e	nativa	6,52	7030	0,045	0,003	1	0,87	0,8256735	538,339122	0,111%
18d	nativa	5,6	7030	0,045	0,003	1	4,21	3,9955005	2237,48028	0,461%
19e	nativa	5,19	7030	0,005	0,003	1	8	0,8436	437,8284	0,090%
19d	nativa	4,92	7030	0,005	0,003	1	8,2	0,86469	425,42748	0,088%
20e	nativa	13,93	7030	0,045	0,003	1	3,37	3,1982985	4455,229811	0,917%
20d	nativa	15,69	7030	0,045	0,003	1	11,26	10,686303	16766,80941	3,452%
21e	nativa	10,96	7030	0,045	0,003	1	9,23	8,7597315	9600,665724	1,976%
21d	nativa	2,06	7030	0,045	0,003	1	1,26	1,195803	246,335418	0,051%
22e	nativa	4,42	7030	0,045	0,003	1	1,78	1,689309	746,674578	0,154%
22d	nativa	5,38	7030	0,045	0,003	1	4,95	4,6977975	2527,415055	0,520%
23e	nativa	1,6	7030	0,045	0,003	1	1,9	1,803195	288,5112	0,059%
23d	nativa	1,85	7030	0,045	0,003	1	3,88	3,682314	681,22809	0,140%
24e	nativa	14,66	7030	0,045	0,003	1	3,47	3,2932035	4827,836331	0,994%
24d	nativa	12,58	7030	0,045	0,003	1	5,15	4,8876075	6148,610235	1,266%
25e	nativa	15,04	7030	0,005	0,003	1	7,04	0,742368	1116,521472	0,230%
25d	nativa	7,39	7030	0,045	0,003	1	4,23	4,0144815	2966,701829	0,611%
26e	nativa	12,54	7030	0,045	0,003	1	8,53	8,0953965	10151,62721	2,090%
26d	nativa	2,25	7030	0,005	0,003	1	4,16	0,438672	98,7012	0,020%
27e	nativa	3,02	7030	0,016	0,003	1	5,4	1,822176	550,297152	0,113%
27d	nativa	5,05	7030	0,016	0,003	1	3,08	1,0393152	524,854176	0,108%
28e	nativa	5,36	7030	0,005	0,003	1	4,3	0,453435	243,04116	0,050%
28d	nativa	1,88	7030	0,005	0,003	1	2,72	0,286824	53,922912	0,011%
29e	nativa	3,06	7030	0,005	0,003	1	4,67	0,4924515	150,690159	0,031%
29d	nativa	2,04	7030	0,005	0,003	1	3,26	0,343767	70,128468	0,014%
30e	nativa	2,77	7030	0,045	0,003	1	2,84	2,695302	746,598654	0,154%
30d	nativa	6,14	7030	0,045	0,003	1	2,71	2,5719255	1579,162257	0,325%
31e	Nativa	9,14	7030	0,032	0,003	1	4,93	3,3271584	3041,022778	0,626%
31d	Nativa	6,22	7030	0,032	0,003	1	1,79	1,2080352	751,3978944	0,155%
32e	Nativa	15,95	7030	0,032	0,003	1	3,88	2,6185344	4176,562368	0,860%
32d	Nativa	9,98	7030	0,032	0,003	1	3,98	2,6860224	2680,650355	0,552%
33e	Nativa	0,36	7030	0,005	0,003	1	2,16	0,227772	8,199792	0,002%
33d	Nativa	5,76	7030	0,005	0,003	1	1,21	0,1275945	73,494432	0,015%
<b>Total</b>		<b>494,78</b>						<b>3,24</b>	<b>160072,73</b>	<b>100%</b>

Tabela 13. Descrição das informações de entradas, fluxos e estoques para calibração de modelo do Taquarizinho, cenário Preservado.

Nota	Descrição	Variável	Calibração			Referência
			Valor	Unidade	Valor de k	
<b>Entradas</b>						
1	Precipitação	R	1396	mm.ano <sup>-1</sup>		ANA (2011)
2	Luz solar	S	1	adimensional		Tilley e Brown (2006)
3	Escoamento de base	CF+GW	3,97 E5	m <sup>3</sup> .d <sup>-1</sup>		Flores(2007)
4	Temperatura	T	30,1	°C		ORNL DAAC (2010)
5	Índice de área foliar	LAI	1,25	adimensional		ORNL DAAC (2010)
<b>Fluxos</b>						
6	Volume de chuva precipitada	J2	1,91 E6	m <sup>3</sup> .d <sup>-1</sup>	1	ANA (2011)
7	Escoamento superficial	J4	2,51 E4	m <sup>3</sup> .d <sup>-1</sup>	2,33 E-9	Barsanti et al. (2003)
8	Ação da capilaridade vertical	J5	4,99 E3	m <sup>3</sup> .d <sup>-1</sup>	8,44 E-5	Tilley e Brown (2006)
9	Infiltração no solo	J7	1,83 E6	m <sup>3</sup> .d <sup>-1</sup>	3,20 E-1	Balanço, J2+J5-J4-J8
10	Evaporação no terreno	J8	4,99 E4	m <sup>3</sup> .d <sup>-1</sup>	1,34 E-2	ORNL DAAC (2010)
11	Evaporação no canal	J9	1,13 E4	m <sup>3</sup> .d <sup>-1</sup>	1,71 E-2	ORNL DAAC (2010)
12	Ação da capilaridade vertical	J10	4,99 E3	m <sup>3</sup> .d <sup>-1</sup>	5,88 E-5	Tilley e Brown (2006)
13	Insolação no terreno	JR	0,65	adimensional	-	Tilley e Brown (2006)
14	Percolação para o lençol	J11	8,62 E5	m <sup>3</sup> .d <sup>-1</sup>	1,33 E-2	Balanço, J7-J13
15	Produção bruta terrestre	J12	1,20 E6	kg.d <sup>-1</sup>	1,54 E-11	ORNL DAAC (2010)
16	Transpiração terrestre	J13	9,70 E5	m <sup>3</sup> .d <sup>-1</sup>	1,56 E-11	ORNL DAAC (2010)
17	Perda de biomassa terrestre	J14	8,39 E5	kg.d <sup>-1</sup>	-	Modelo hidro-carbono
18	Saída do aquífero superficial	J15	8,51 E5	m <sup>3</sup> .d <sup>-1</sup>	5,69 E-3	Balanço, entrada=saída
19	Troca aquífero/canal	J16	4,99 E3	m <sup>3</sup> .d <sup>-1</sup>	-1,14 E-3	Tilley e Brown (2006)
20	Descarga do canal (linear)	J18	2,11 E5	m <sup>3</sup> .d <sup>-1</sup>	2,08 E-1	Assumiu-se 50% descarga
21	Descarga do canal (quadrática)	J19	2,11 E5	m <sup>6</sup> .d <sup>-2</sup>	2,04 E-7	Assumiu-se 50% descarga

Continuação.Tabela 13. Informações de entradas, fluxos e estoques para calibração de modelo do Taquarizinho, cenário Preservado.

Nota	Descrição	Variável	Calibração		Referência
			Valor	Unidade	
Estoques					
22	Biomassa terrestre por m <sup>2</sup>	BU	3,49 E9	kg biomassa	<i>Bustamante et al.(2006), Fearnside (1996), e Cavalett (2008)</i>
			7	kg.m <sup>-2</sup>	
23	Estoque superficial	SD	5,72 E6	m <sup>3</sup>	-
	profundidade média		11,48	mm	<i>Tilley e Brown (2006), ANA (2011)</i>
24	Umidade do solo	USM	6,48 E7	m <sup>3</sup>	-
	profundidade média		130	mm	<i>Inmet (2010)</i>
25	Volume do lençol	SA	1,50 E8	m <sup>3</sup>	-
	profundidade média		2	m	<i>Girard et al. (2003), Manzione (2007)</i>
	porosidade média		15	%	
26	Água dos Canais	CW	1,02 E6	m <sup>3</sup>	<i>Gastmans et al. (2010)</i>
	Comprimento total		249.673	m	<i>Embrapa CNPTIA (2011)</i>
	profundidade		0,45	m	<i>Embrapa CNPTIA (2011)</i>
	largura		9,05	m	<i>Ide e Ribeiro (2009)</i>
27	Área da bacia	AU	498.514.329	m <sup>2</sup>	<i>Ide e Ribeiro (2009)</i>
	Mata Nativa (Cerrado)	AN	498.514.329	m <sup>2</sup>	<i>Embrapa CNPTIA (2011)</i>
	Agricultura (soja)	AA	-	m <sup>2</sup>	<i>Cenário Preservado</i>
	Pastagens	AP	-	m <sup>2</sup>	<i>Embrapa CNPTIA (2011)</i>
					<i>Embrapa CNPTIA (2011)</i>

Os Gráficos 23 a, b e c mostram uma comparação entre os resultados da simulação para condições primitivas (curva cheia, preta) e aqueles dos anos de 1995-1996 (curva pontilhada, vermelha) em relação aos fluxos de *runoff* (J4), infiltração de água no solo (J7), e percolação de água para o aquífero superficial (J11), respectivamente.

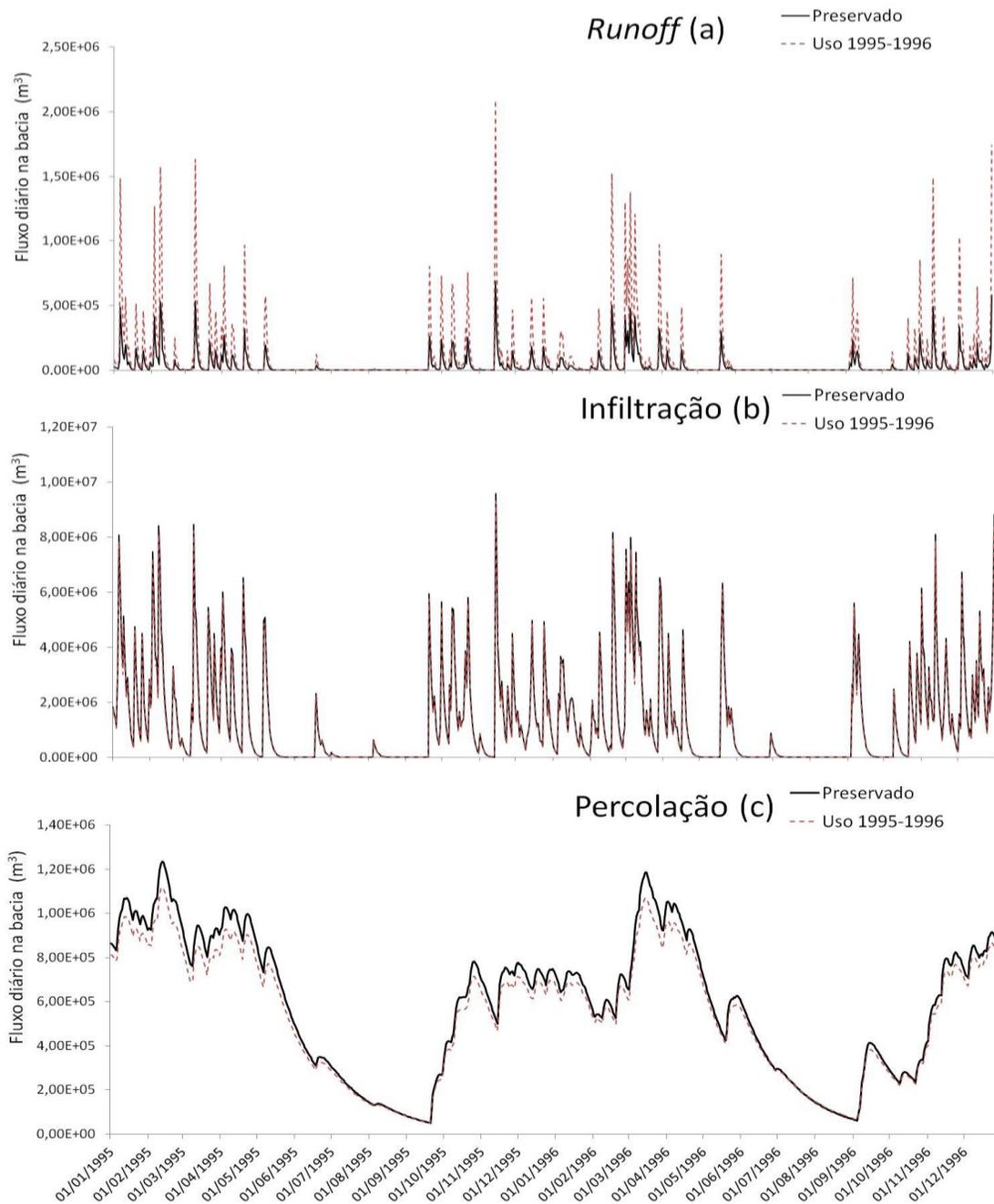


Gráfico 23. Comparação entre simulação de dois anos para condições primitivas e de 1995-1996 para os fluxos diários de (a) *runoff*, (b) infiltração e (c) percolação. Fluxos em  $m^3d^{-1}$ .

Complementarmente, os Gráfico 24 a, b e c mostram a comparação dos resultados para a simulação para condições primitivas (curva cheia) e para os anos de 1995-1996 (curva fina), considerando os fluxos de evapotranspiração (J8+J19+J13), vazão no canal (J18+J19) e recarga de aquífero (J15).

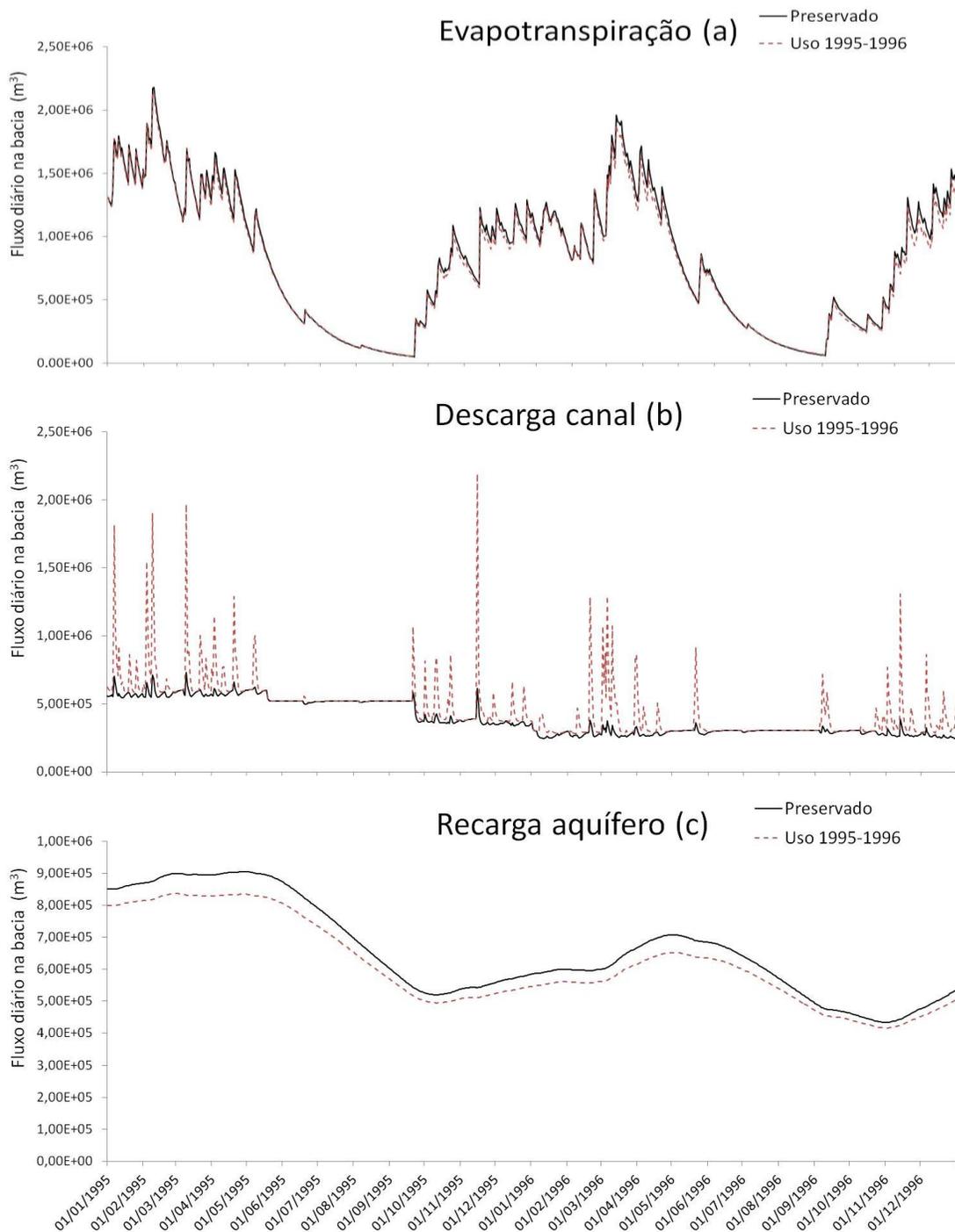


Gráfico 24. Comparação entre simulação de dois anos para condições primitivas e de 1995-1996 para os fluxos de (a) evapotranspiração, (b) descarga pelo canal e (c) recarga de aquífero. Fluxos em  $m^3d^{-1}$ .

Observando os resultados disponíveis nos Gráficos 23 e 24, pode-se verificar que a mudança no componente uso e ocupação do solo provocou alteração em todos os fluxos hidrológicos. Comparando as condições primitivas simuladas para a bacia, verifica-se visualmente que houve aumento do *runoff* nos anos de 1995 e 1996. Como consta na Tabela 14, o valor médio diário de J4 aumentou de 2,69 E4 para 10,72 E4 m<sup>3</sup> d<sup>-1</sup> para a simulação de 2 anos (730 dias). Calculando-se o somatório do valor acumulado diário, o valor obtido de J4 para o cenário “Preservado” foi de 3,69 E7 m<sup>3</sup>, ao passo que para 1995-1996, o *runoff* acumulado foi de 7,82 E7 m<sup>3</sup>, que representa um incremento relativo de 191%.

Tabela 14. Comparativo de valores de fluxos simulados para condição primitiva e de 1995-1996.

<b>Fluxo hidrológico</b>	<i>Fluxo médio diário Preservado</i> <sup>a</sup> (m <sup>3</sup> d <sup>-1</sup> )	<i>Fluxo médio diário 1995-1996</i> <sup>b</sup> (m <sup>3</sup> d <sup>-1</sup> )	<i>Volume acumulado Preservado</i> (m <sup>3</sup> )	<i>Volume acumulado 1995-1996</i> (m <sup>3</sup> )	<b>Diferença volume</b> (b-a)/a (%)
<i>Runoff</i>	3,69 E4	10,72 E4	2,69 E7	7,82 E7	<b>+191</b>
Infiltração	1,33 E6	1,27 E6	9,75 E8	7,25 E8	<b>-5%</b>
Percolação	5,85 E5	5,42 E5	4,28 E8	3,96 E8	<b>-7%</b>
Evapotranspiração	8,25 E5	7,98 E5	6,03 E8	5,83 E8	<b>-3%</b>
Descarga canal	3,94 E5	4,64 E5	2,88 E8	3,39 E8	<b>+18%</b>
Recarga aquífero	6,57 E5	6,14 E5	4,80 E8	4,49 E8	<b>-6%</b>

<sup>a,b</sup> Média aritmética dos valores simulados em 730 dias, equivalente ao período de dois anos.

Em relação aos demais fluxos simulados, o uso da terra em 1995-1996 teria reduzido a infiltração de água em 5%, a percolação em 7%, evapotranspiração em 3%, recarga de aquífero em 6% quando comparada ao cenário Preservado. Além do aumento no fluxo de *runoff*, a simulação gerou elevação em 18% no valor médio de descarga pelo canal. Observa-se que o modelo reproduz resultados esperados, pois, quando a bacia se encontra integralmente coberta por vegetação nativa, o escoamento superficial é atenuado e diminuem-se os picos de vazão no canal, mostrando a função reguladora dos fluxos hídricos desempenhada pelo ecossistema preservado. Ao mesmo tempo, a substituição do Cerrado s.s. por pastagens e agricultura (1995-1996) provoca uma redução perceptível na recarga de aquífero simulada e um discreto declínio da evapotranspiração simulada.

Para fins de cálculo da perda (ou ganho) monetário associado à mudança de uso do solo, serão definidos como “ótimos” aqueles relacionados aos valores do cenário

preservado, utilizando-se da abordagem *split*. Dessa maneira, o valor em Emdólares (EM\$) associado aos serviços ecossistêmicos na situação de uso e ocupação do solo em 1995-1996 terão como base de comparação o cenário Preservado. No caso da recarga de aquífero, observa-se no Gráfico 25 a diferença entre as barras de valor (EM\$) gerados na bacia para os 31 primeiros dias de simulação.

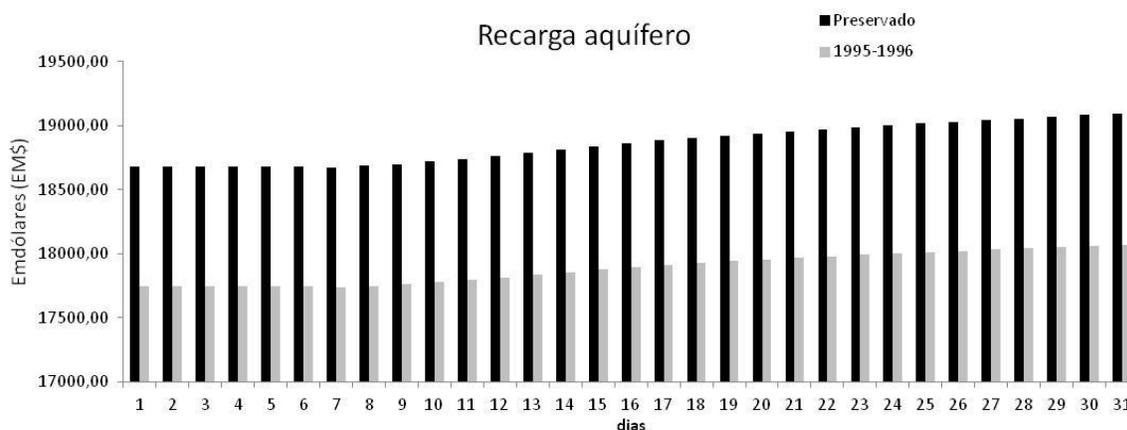


Gráfico 25. Valores de recarga de aquífero no primeiro mês de simulação, comparação entre cenário preservado e uso do solo em 1995-1996.

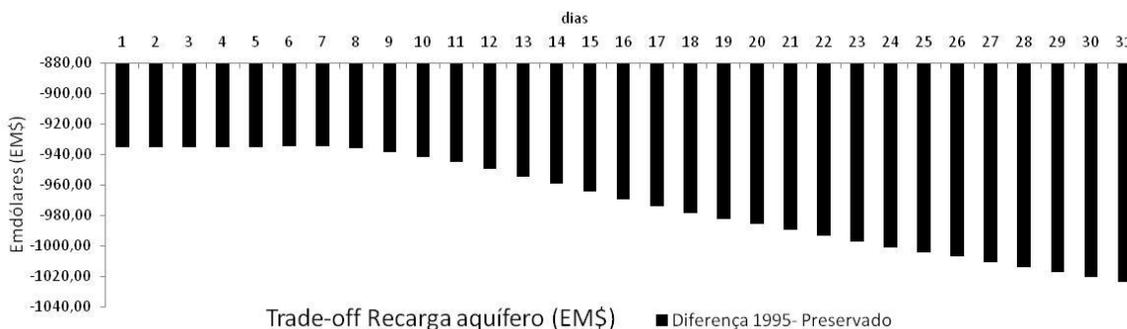


Gráfico 26. Diferença diária dos valores monetários de recarga de aquífero no primeiro mês de simulação, comparação entre uso do solo em 1995-1996 e cenário preservado.

Ao longo dos dias em um intervalo de dois anos de simulação, o somatório do serviço de recarga de aquífero para o cenário Preservado foi de EM\$ 10.522.904,00, ao passo que para o cenário 1995-1996, a integralização dos valores gerou EM\$ 9.948.300,00 em toda a Bacia do Taquarizinho. No Gráfico 26, é possível observar as diferenças diárias entre serviços de recarga gerados na bacia durante o primeiro mês de

simulação, cujos valores envolveram perdas de EM\$ 930,00 a 1100,00 ao dia em toda a bacia. Observou-se ao longo dos dois anos de simulação, que todos os valores diários gerados em 1995-1996 foram menores em comparação com os fluxos do cenário Preservado. Somando-se a perda total ao longo dos dois anos de simulação, o serviço de recarga de aquífero em 1995-1996 foi diminuído em EM\$ 574.604,00 o que equivale a uma perda média anual de EM\$ 287.302,00 em toda a bacia, ou ainda EM\$ 5,76 ha<sup>-1</sup>.ano<sup>-1</sup>, quando comparados às condições do cenário Preservado.

Dessa forma, apesar da bacia do Taquarizinho gerar recarga de aquífero com o uso do solo dos anos de 1995-1996, o que se leva em conta no cálculo é que a mudança no uso e ocupação do solo esteve associada à perda relativa de recarga, pois a redução de fluxo de Emdólares (EM\$) na bacia será interpretada como uma redução potencial de bem-estar e de depleção dos serviços ecossistêmicos de regulação do ecossistema, pois diminui a taxa natural de recarga da bacia, o que reduz a água disponível para alimentar nascentes de cursos d'água e estoques subterrâneos, ambos explorados por cidades, indústrias e na zona rural.

Em relação ao serviço de descarga pelo canal, considera-se como conceito primordial a vazão ecológica segundo o método de Tennant (TENNANT, 1976, ver Anexo V), também chamado método Montana, que define a sanidade do ecossistema fluvial em função da vazão em determinada época do ano, expressa em porcentagem com relação à vazão média anual do rio. De acordo com a abordagem, a vazão mínima no período de seca (abril-setembro) não pode ser inferior a 10% da vazão média anual; no período de chuvas (outubro-março), esse valor não pode ser inferior a 30%. O principal motivo da escolha dessa abordagem é que a única na literatura que define também uma vazão máxima ecológica: este fator é definido como não podendo ultrapassar 200% da vazão média anual, independentemente da época do ano. Isso é interessante pois, no caso do Taquarizinho, os problemas ambientais parecem estar muito mais associados ao aumento da descarga, em função da eliminação da cobertura vegetal nativa. Tendo como base as vazões de 730 dias, simuladas para o cenário preservado, calcula-se como vazão média dos dois primeiros anos e seus respectivos limites máximos e mínimos, baseados em Tennant (1976), na tabela abaixo.

Tabela 15. Limites de vazão ecológica primitiva para o rio Taquarizinho baseado em Tennant (1976).

Ano	Vazão média anual ( $m^3 d^{-1}$ )	Vazão ecológica mínima, <i>out-mar</i> ( $m^3 d^{-1}$ )	Vazão ecológica mínima, <i>abr-set</i> ( $m^3 d^{-1}$ )	Vazão ecológica máxima ( $m^3 d^{-1}$ )
Primeiro ano	5,01 E5	1,50 E5	5,01 E4	1,00 E6
Segundo ano	2,88 E5	8,63 E4	2,88 E4	5,76 E5

Observa-se no Gráfico 27 que, ao longo dos dois anos de simulação, existem 31 eventos nos anos de 1995-1996 em que a vazão pelo canal ultrapassa o valor máximo de 200% da descarga média anual primitiva, segundo proposto pelo método de Tennant. Estes eventos serão considerados como afetando negativamente o bem-estar e o ecossistema aquático e, portanto, terão seus valores associados aos valores de Emdólares (EM\$) negativos. No caso dos demais valores de 1995-1996, e de todos os valores do cenário preservado, tais fluxos de EM\$ serão considerados como positivos, por estarem dentro do intervalo de vazões ecológicas mínima e máxima de Tennant.

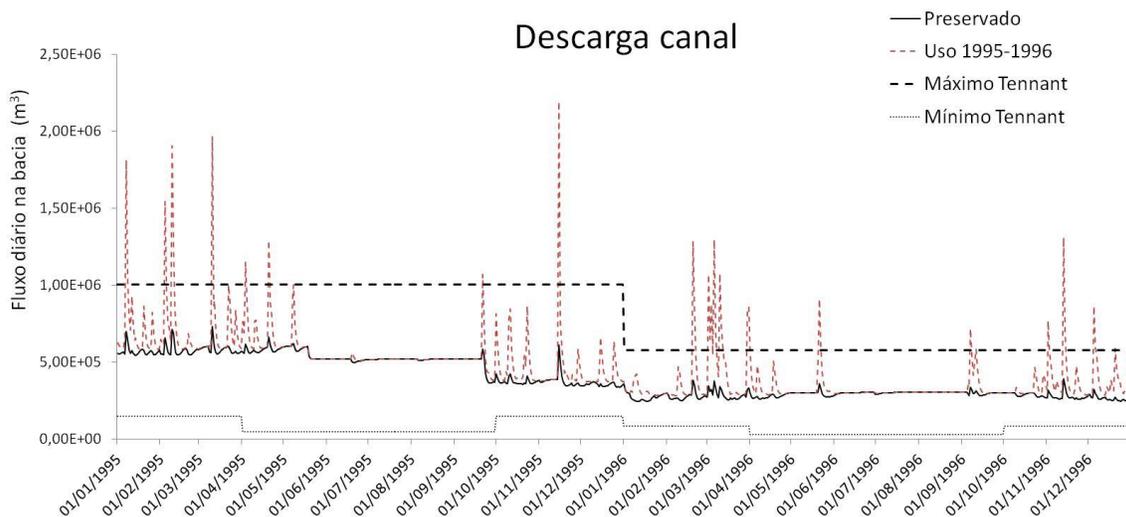


Gráfico 27. Valores de descarga diária pelo canal para: cenário Preservado, anos 1995-1996, valores mínimos e máximos de Tennant.

Como mostra o Gráfico 28, onde estão apenas ilustrados os valores de EM\$ relativos ao primeiro mês de simulação, nos dias 7/01/95 e 8/01/95 a vazão ultrapassou o limite máximo de Tennant e foi considerado como um desserviço ecossistêmico. Dessa forma, seus valores monetários foram multiplicados por -1. Nos demais dias do mês de janeiro de 1995, como é possível observar no gráfico, os valores de EM\$ para o serviço

de descarga no canal foi superior no cenário 1995-1996 (barras cinzas) comparados ao cenário Preservado, exceto nos dias 19, 25, e 31.

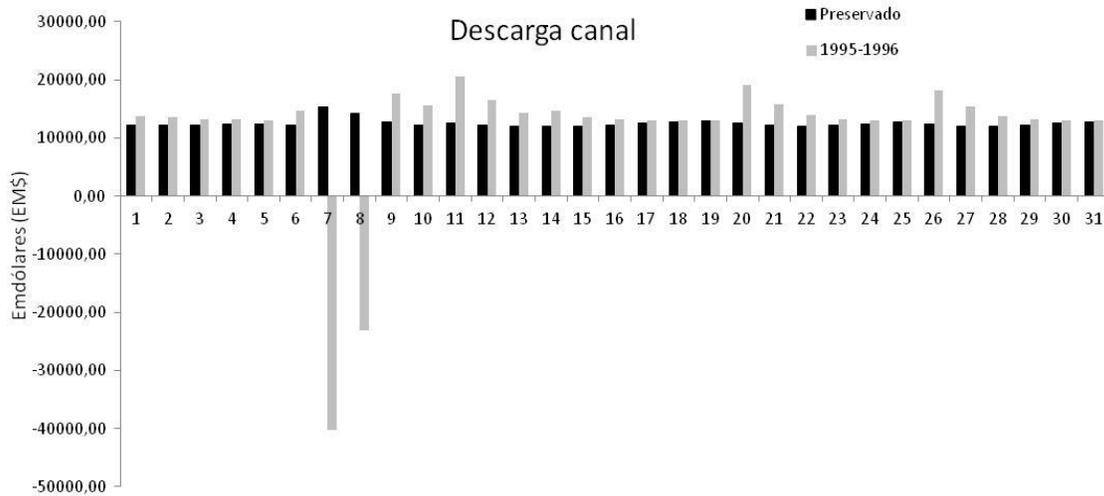


Gráfico 28. Valores monetários de descarga no canal no primeiro mês de simulação, comparação entre cenário Preservado e uso do solo em 1995-1996.

Efetuando o cálculo das diferenças entre os serviços prestados em ambos usos e ocupação do solo, o Gráfico 29 mostra que há uma perda no valor de descarga pelo canal prestado pela bacia do Taquarzinho em janeiro de 1995 se comparada ao mesmo período do cenário Preservado, estimado em EM\$ -28.900,00 para o mês.

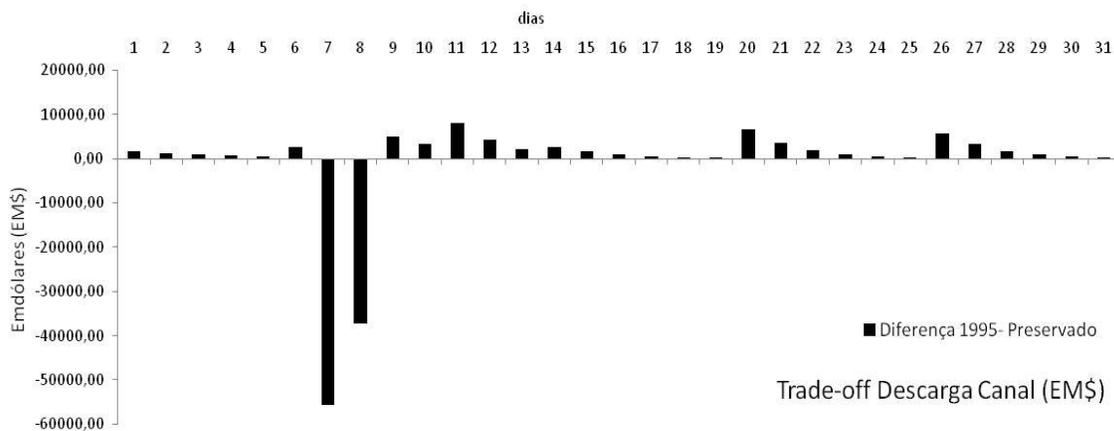


Gráfico 29. Diferença diária dos valores monetários de descarga pelo canal no primeiro mês de simulação, comparação entre uso do solo em 1995-1996 e cenário Preservado.

No caso do cenário de 1995-1996 há um decréscimo no serviço de provisão de água por descarga do canal se comparado ao cenário Preservado. Somando-se os

valores (positivos e negativos quando a vazão ultrapassa o máximo de Tennant), o valor total de descarga para os dois anos de simulação foi de EM\$ 6.020.568,00 considerando o uso em 1995-1996. No caso do cenário Preservado, o mesmo serviço foi de EM\$ 6.322.186,00. Dessa forma, pode-se dizer que a mudança no uso e ocupação do solo gerou um fluxo de EM\$ -301.618,00 no serviço ecossistêmico de descarga pelo canal ao longo dos dois anos de simulação, equivalente a EM\$ -150.809,00 ao ano, ou EM\$ -3,03 ha<sup>-1</sup>ano<sup>-1</sup>.

Em relação ao serviço de evapotranspiração, o incremento do fluxo diário de vapor de água para a atmosfera pode ter correlação positiva com o bem-estar nas imediações da bacia hidrográfica devido ao aumento da umidade relativa do ar e da diminuição da temperatura do ambiente, como já discutido anteriormente. Portanto, a maximização desenfreada deste fluxo também não é desejável ao ecossistema devido à possibilidade de redução abrupta da água estocada na umidade do solo, o que prejudicaria a manutenção da vegetação natural e das culturas agrícolas. Apesar do efeito dual da maximização do fluxo mássico de evapotranspiração, os valores positivos de emergência (sej) serão considerados como sendo positivos em termos monetários (EM\$), tendo em vista o papel que este fluxo pode desempenhar na melhoria do mesoclima local. Para fins de cálculo da perda (ou ganho) monetário associado à mudança de uso do solo, serão definidos como “ótimos” aqueles relacionados aos valores do cenário Preservado.

Utilizando-se novamente da abordagem *split* para cálculo, o Gráfico 30 exibe os valores simulados em Emdólares (EM\$) associado ao serviço de evapotranspiração para os primeiros 31 dias de simulação (janeiro de 1995). Existiram dias representados no gráfico em que a geração deste serviço foi menor em 1995-1996 (barras cinzas) quando comparadas ao cenário Preservado (barras pretas). No entanto, predominaram os dias em que a geração foi reduzida se comparada ao cenário Preservado. No mês de janeiro, a redução no serviço de evapotranspiração foi estimada em EM\$ 218,00 para toda a bacia, devido à mudança de uso da terra e à transformação do cenário Preservado para as condições de 1995-1996.

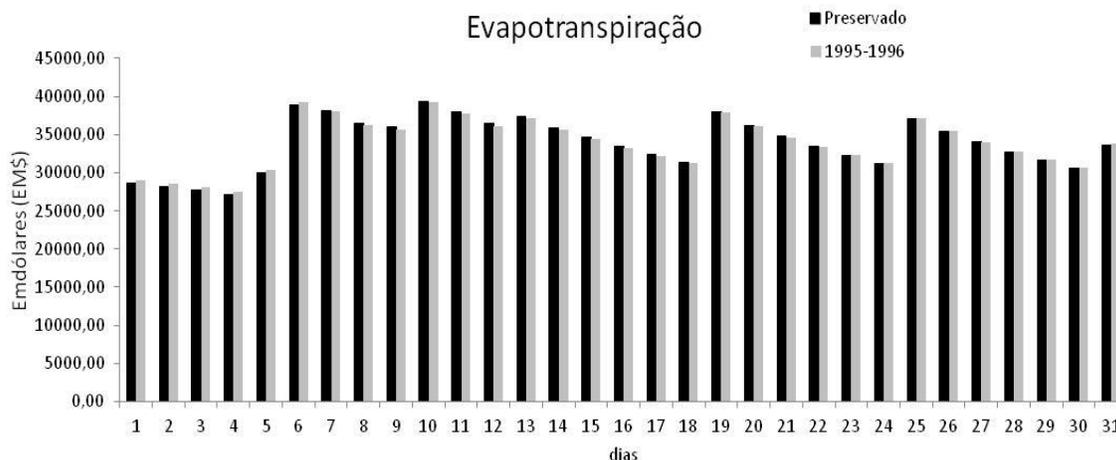


Gráfico 30. Valores monetários de evapotranspiração no primeiro mês de simulação, comparação entre cenário preservado e uso do solo em 1995-1996.

Em caráter complementar, o Gráfico 31 exibe os valores diários da perda ou ganho no serviço de evapotranspiração na bacia do Taquarizinho, partindo-se da comparação entre o cenário 1995-1996 e o cenário Preservado. Observa-se a predominância de perdas (*trade-offs*) nos 31 dias do mês de janeiro de 1995. De fato, essa tendência é confirmada ao longo dos dois anos de simulação, com acúmulo de perdas de evapotranspiração. Efetuando o somatório diário do serviço de evapotranspiração, o valor total obtido ao longo de 730 dias foi de EM\$ 13.187.356,00 para o cenário Preservado, e de EM\$ 12.862.593,00 para a situação em 1995-1996. Portanto, pode-se dizer que a mudança no uso de solo provocou uma perda no serviço ecossistêmico de evapotranspiração estimada em EM\$ 324.700,00 em dois anos, o que equivale a EM\$ 162.350,00 ao ano, ou ainda, EM\$ 3,26 ha<sup>-1</sup>ano<sup>-1</sup>.

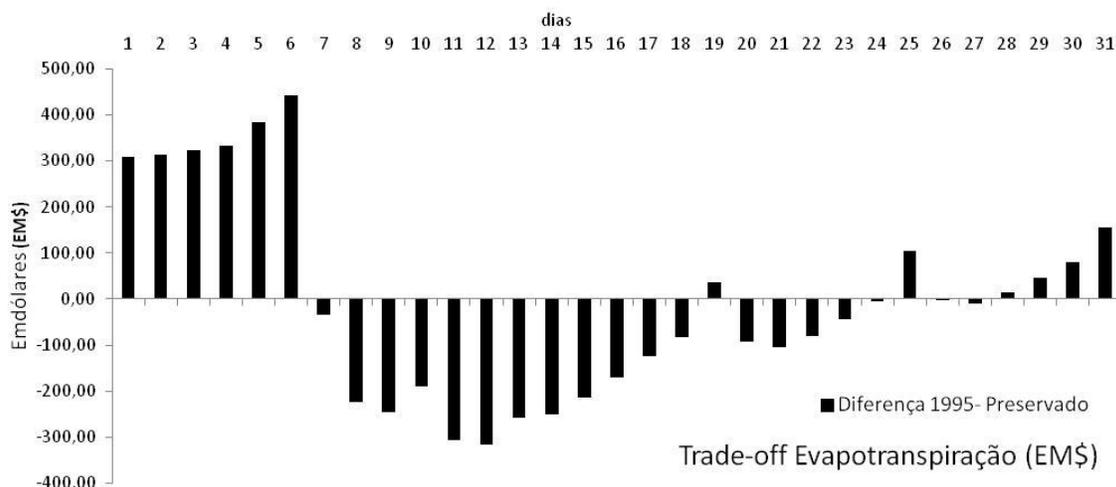


Gráfico 31. Diferença diária dos valores monetários de evapotranspiração no primeiro mês de simulação, comparação entre uso do solo em 1995-1996 e cenário preservado.

Portanto, pode-se perceber que o mosaico de uso e ocupação do solo para 1995-1996, configurado por 21% de agricultura (AA), 46% de pastagens (AP) e 34% de área nativa (AN), foi capaz de reduzir a provisão de serviços hidrológicos quando comparada à situação preservada. Conforme mostra a tabela abaixo, o efeito líquido da mudança para 2 anos de simulação implicou em perda total de serviços hidrológicos de provisão de água valoradas em EM\$ 1.200.985,28, equivalente a um valor médio de EM\$ 12,05 ha<sup>-1</sup>ano<sup>-1</sup> na bacia do Taquarizinho.

Tabela 16. Efeito da mudança de uso e ocupação do solo no serviços hidrológicos gerados na bacia do Taquarizinho, comparação entre uso 1995-1996 e uso preservado (aspecto de provisão de água).

Serviço	Uso Preservado <sup>a</sup>		Uso 1995-1996 <sup>b</sup>		Trade off <sup>(b-a)</sup>	
	EM\$	EM\$/ha/ano	EM\$	EM\$/ha/ano	EM\$	EM\$/ha/ano
Evapotranspiração	13.187.356	132,27	12.862.593	129,01	-324.762	-3,26
Descarga canal	6.322.186	63,41	6.020.568	60,39	-301.618	-3,03
Recarga aquífero	10.522.904	105,54	9.948.300	99,78	-574.603	-5,76
<b>Total</b>					<b>-1.200.983**</b>	<b>-12,05</b>

<sup>a</sup> Uso preservado simulado, considerando 100% de vegetação nativa na bacia <sup>\*\*</sup> valor simulado para um período de 2 anos, equivalentes a 730 dias de simulação.

Complementarmente, pode-se discutir a mudança nos valores de fluxos hidrológicos não apenas considerando a perspectiva da provisão de água (Tabela 16), mas também analisando o impacto nos mesmos três serviços hidrológicos sob o ponto de

vista da regulação. Dentro dessa perspectiva, os trade-offs associados à mudança de uso do solo seriam os valores acumulados das diferenças de Emdólares observadas entre o cenário Preservado e o 1995/1996, em base diária. Portanto, considerar-se-á que toda e qualquer diferença entre os valores 1995/1996 em relação ao cenário Preservado trata-se de uma perda do ponto de vista de regulação. Dentro dessa perspectiva, inclusive os aumentos nos fluxos de evapotranspiração, descarga e recarga que venham a ocorrer após a mudança no uso do solo, serão considerados como desserviços sob ponto de vista de regulação. Assim, a mudança de uso do solo nunca promoverá impacto positivo, apenas negativo (quando há diferença de fluxos) ou nulo (quando a diferença entre os fluxos de cada cenário for zero).

Observa-se, no Gráfico 32, que o método de Tennant não se aplicaria mais à descarga de canal na avaliação dos impactos da sua regulação. Diferentemente do Gráfico 28, não há um valor negativo de Emdólares para os dias 8/01 e 9/01/1995 no cenário 1995-1996. Essa medida foi tomada porque, do ponto de vista da regulação, não se levará em conta os efeitos danosos de uma vazão excessiva, no entanto, o que importa será a diferença entre os fluxos de cada cenários (barras cinzas e pretas do gráfico abaixo), cujo valor em módulo será o valor de perda de regulação hídrica devido ao fato de alterar os fluxos ótimos do cenário Preservado.

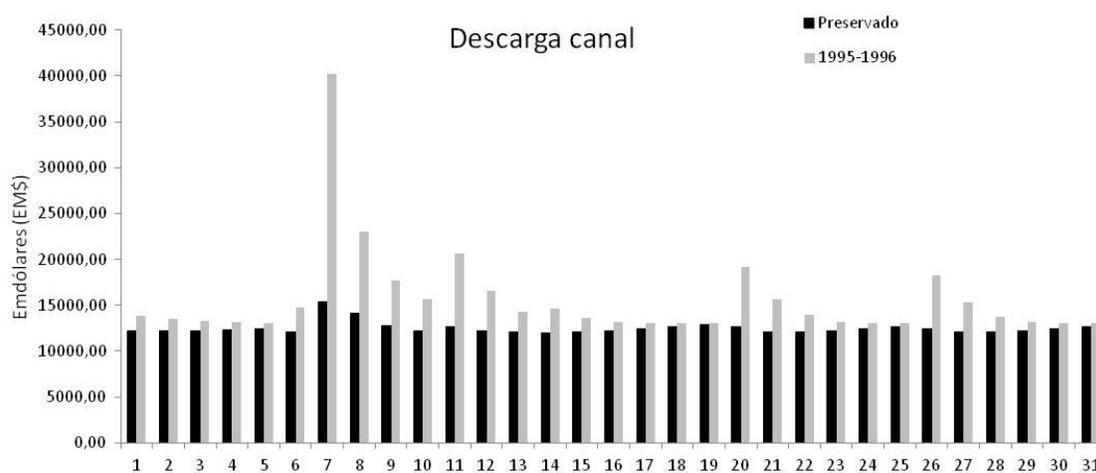


Gráfico 32. Módulo dos valores monetários de descarga no canal no primeiro mês de simulação, comparação entre cenário Preservado e uso do solo em 1995-1996.

O Gráfico 33 mostra o valor em módulo dos desvios diários observados no primeiro mês de simulação. Observa-se que, diferentemente do Gráfico 29, a mudança de uso da terra provocou apenas alterações negativas para a regulação de descarga pelo

canal. Apesar do Gráfico 33 apresentar seu eixo das ordenadas com os valores positivos em termos de Emdólares (EM\$), esses se referem aos valores associados à perda na regulação, dado o desvio em relação às condições preservadas da Bacia do Taquarizinho. Assim, pode-se dizer que os valores em módulo dos desvios obtidos no primeiro mês de simulação, que variam em cerca de EM\$ 250 a EM\$ 25.000,00 por dia, na realidade são desserviços de regulação associados a valores negativos: EM\$ -200,00 a EM\$ -25.000,00 por dia.

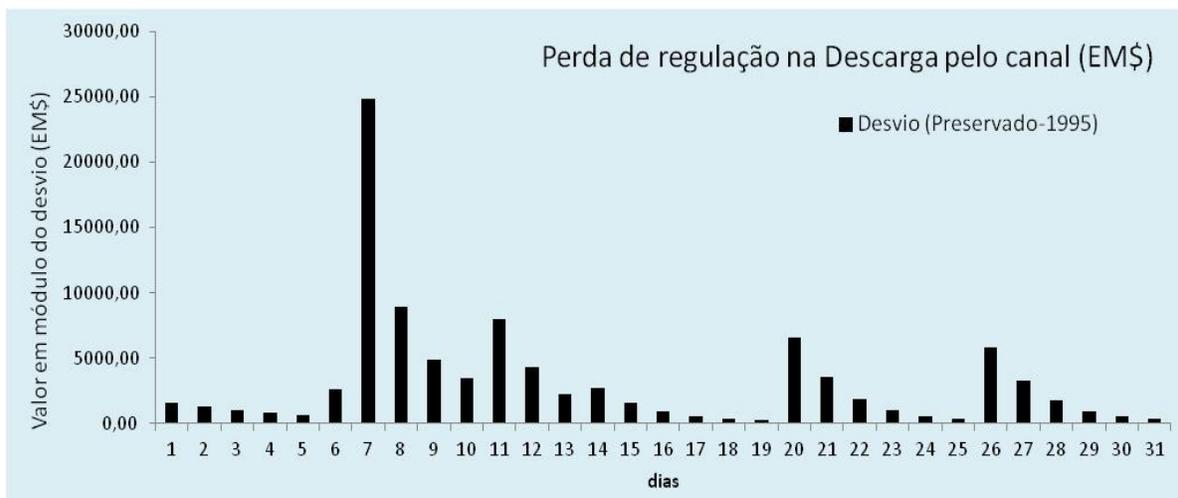


Gráfico 33. Valores obtidos no primeiro mês de simulação para perda no serviço de regulação de descarga pelo canal, após mudança de cenário Preservado para o cenário 1995/1996.

Analogamente ao cálculo de perda de regulação para o serviço de descarga pelo canal, foram computados os desvios diários para a evapotranspiração e recarga de aquífero. Os gráficos a seguir mostram apenas os resultados para o primeiro mês de simulação. Observa-se que, no caso da recarga de aquífero (Gráfico 34), a perda de regulação oscilou entre valores de EM\$ 930,00 a EM\$ 1.020,00 por dia. Mais uma vez, isso significa um desserviço que varia entre EM\$ -930,00 e EM\$ -1.020,00 por dia no mês de janeiro.

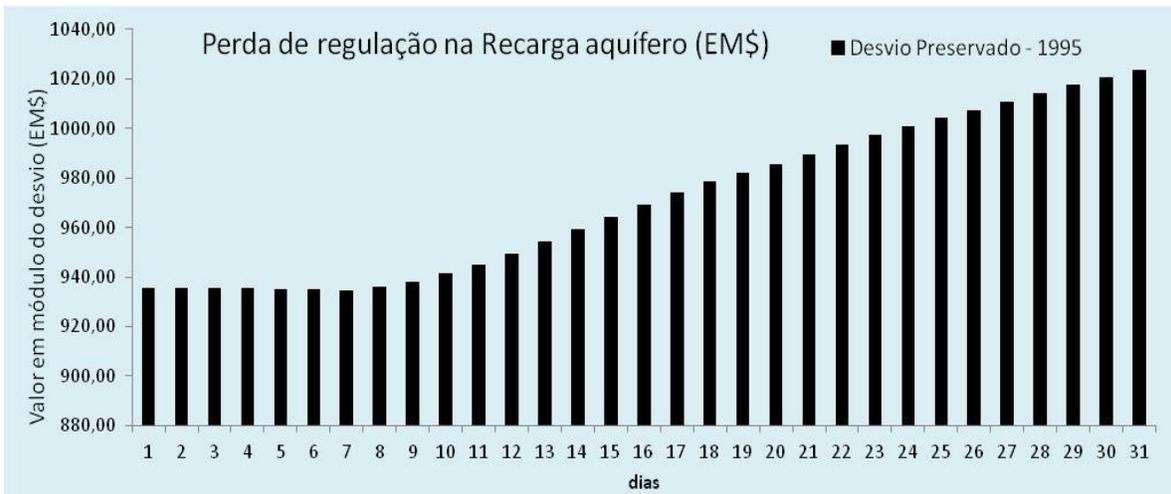


Gráfico 34. Valores obtidos no primeiro mês de simulação para perda no serviço de regulação de recarga de aquífero, após mudança de cenário Preservado para o cenário 1995/1996.

No caso do serviço de evapotranspiração (Gráfico 35), a perda de regulação esteve associada aos valores que oscilaram entre EM\$ 10,00 e EM\$ 450,00 por dia em toda a bacia, durante o primeiro mês de simulação. Como já dito anteriormente, esses podem ser interpretados como desserviços que possuem valores negativos de Emdólares: EM\$ -10,00 e EM\$-450,00.

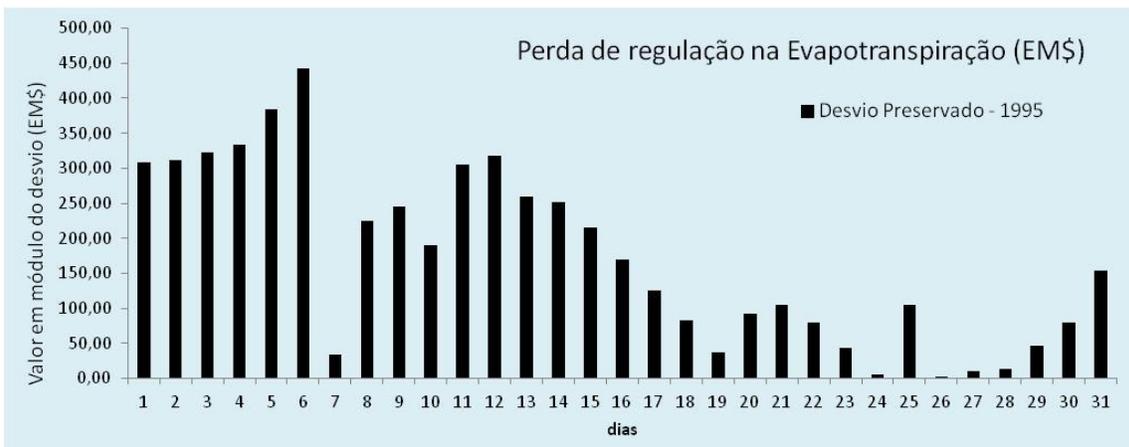


Gráfico 35. Valores obtidos no primeiro mês de simulação para perda no serviço de regulação de evapotranspiração, após mudança de cenário Preservado para o cenário 1995/1996.

A Tabela 17 mostra o valor acumulado, ao longo de dois anos, dos desvios diários para cada serviço ecossistêmico. Somando-se os desvios entre os valores Emdólares de evapotranspiração ao longo dos 731 dias de simulação, o valor total acumulado é de EM\$ 364.126,00, o que equivale a uma média de EM\$ 7,30 por hectare por ano. Utilizou-se o

sinal negativo (EM\$ -364.126,75 e EM\$ -7,30 ha<sup>-1</sup>ano<sup>-1</sup>) para sinalizar que este valor se refere a uma perda na capacidade de regulação do serviço estudado. De maneira análoga, foram calculados os trade-offs de perda de regulação na descarga pelo canal (EM\$ -1.192.405,12 e EM\$-23,92 ha<sup>-1</sup>ano<sup>-1</sup>) e de recarga de aquífero (EM\$-574.603,00 e EM\$-11,53 ha<sup>-1</sup>ano<sup>-1</sup>). Observa-se que a maior alteração refere-se à perda do serviço de regulação de descarga pelo canal. Este fato já era esperado e explicitado anteriormente, devido a maior alteração (18%), em termos de volume de água, na descarga pelo canal ao longo de dois anos quando comparado às alterações percentuais na evapotranspiração e na recarga de aquífero devido à mudança do cenário Preservado para o cenário 1995-1996.

Tabela 17. Efeito da mudança de uso e ocupação do solo no serviços hidrológicos gerados na Bacia do Taquarizinho, comparação entre uso 1995-1996 e uso preservado (aspecto de regulação hidrológica).

Serviço desregulado	Efeito da Mudança de uso do solo	
	Somatório dos desvios diários durante dois anos (EM\$)*	Média anual por área (EM\$.ha <sup>-1</sup> .ano <sup>-1</sup> )
Evapotranspiração	-364.126,75	-7,30
Descarga pelo canal	-1.192.405,12	-23,92
Recarga aquífero	-574.603,94	-11,53
<b>Total</b>	<b>-2.131.135,80</b>	<b>-42,75</b>

\*valores calculados considerando o somatório diário, ao longo de 731 dias de simulação, dos desvios absolutos calculados entre fluxos, dados em Emdólares diários, do cenário Preservado e do 1995/1996.

## 5.2 Resultados do modelo hidro-carbono para 2006-2008

Primeiramente, o Gráfico 36 revela dinâmica da produção primária bruta e da respiração autótrofa simuladas ao longo dos anos 2006 a 2008, medidos em kg C d<sup>-1</sup> em toda a Bacia do Taquarizinho. Observando o eixo superior referente à pluviosidade, é possível notar que os picos de respiração autótrofa (R<sub>a</sub>) ocorrem na época das chuvas (primavera e verão), devido a maior incidência de pluviosidade e também do aumento da variável temperatura. Observando-se a trajetória da curva pontilhada, o valor médio da R<sub>a</sub> ao longo da simulação foi de 4,12 E5 kg C d<sup>-1</sup>, para toda a bacia, o que equivale a uma média por área de 8,26 kg C ha<sup>-1</sup> d<sup>-1</sup>. O valor máximo alcançado foi equivalente a 12,10 e o mínimo, a 1,42 kgC ha<sup>-1</sup> d<sup>-1</sup>. É interessante notar o valor de R<sub>a</sub> ultrapassa a GPP entre

os dias 158 (7/06/2006) e 296 (23/10/2006), indicando uma emissão líquida de carbono por parte da biomassa durante esse período. De maneira semelhante, a respiração autótrofa excede a produção primária líquida entre os dias 492 (7/05/2007) e 509 (24/05/2007), também entre os dias 527 (11/06/2007) e 683 (14/11/2007), e entre 889 (07/06/2008) e 1012 (8/10/2008).

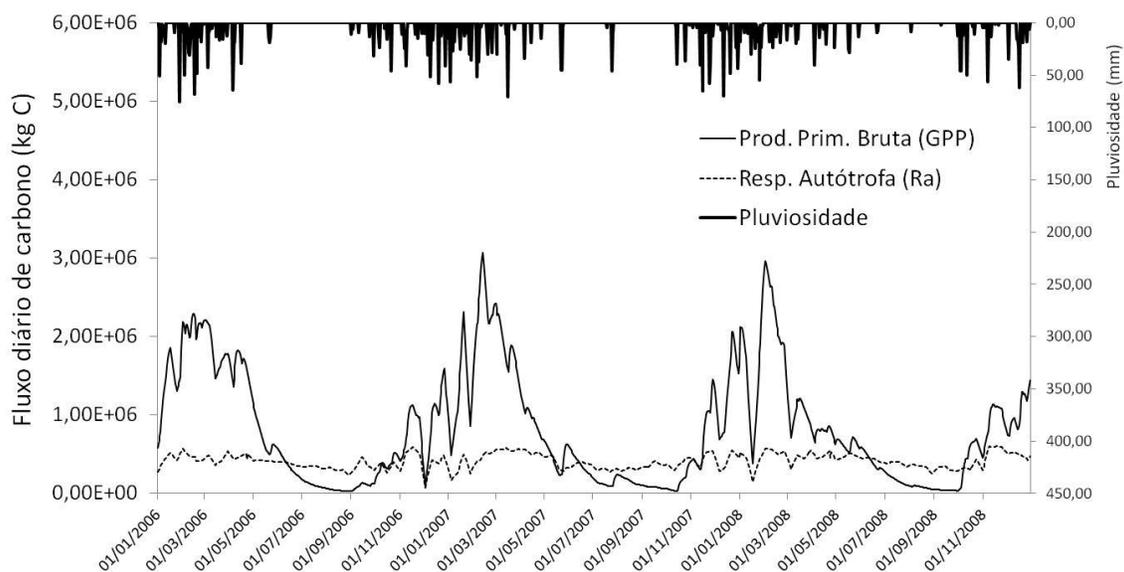


Gráfico 36. Dinâmica da produção primária bruta média e respiração autótrofa média simuladas para a Bacia do Taquarizinho entre os anos 2006 a 2008.

Com o intuito de mostrar a dinâmica de sequestro ou emissão de carbono pela biomassa em base diária, o Gráfico 37 mostra o valor da produção primária líquida. Como descrito anteriormente, durante os períodos de estiagem e menores temperaturas (outono e inverno), o valor da produção primária líquida se torna negativo, como é possível observar nas curvas abaixo da linha base ( $y=0$ ) traçada no gráfico abaixo. Observa-se, portanto que o modelo reproduz de maneira adequada a sazonalidade da NPP, evidenciando que a biomassa presente na bacia do Taquarizinho exerce um papel ora de fixador de carbono no período úmido – atingindo picos de fluxos que superam  $2 \text{ E6 kgC d}^{-1}$ , equivalente a  $40 \text{ kgC ha}^{-1} \text{ d}^{-1}$  –, ora de emissora líquida, durante a auge da estiagem, onde o incêndio gerou uma emissão de  $4 \text{ E6 kg C d}^{-1}$ , equivalente a  $80 \text{ kgC ha}^{-1} \text{ d}^{-1}$ .

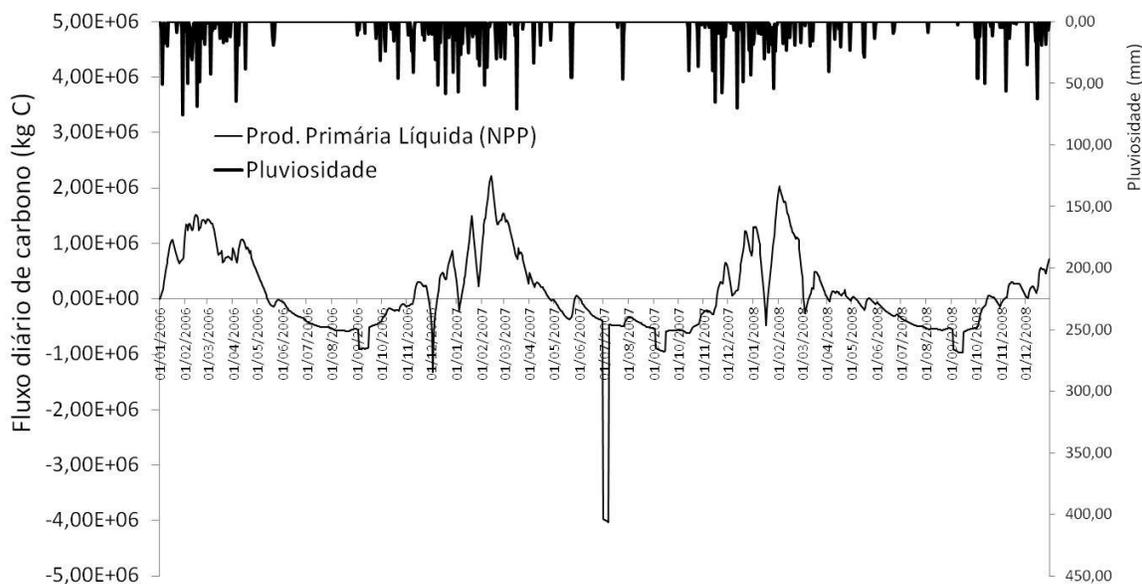


Gráfico 37. Dinâmica da produção primária líquida média simulada para a Bacia do Taquarizinho entre os anos 2006 a 2008.

As quedas abruptas no valor de NPP, próximas aos dias 10/04/06, 17/09/06, 26/03/07, 22/09/07, 10/03/08 e 16/09/08, referem-se aos pulsos de colheita (J29) de biomassa acumulada em áreas de agricultura, que subtraem parte do carbono da bacia duas vezes ao ano, devido à colheita da cultura de verão e inverno. Em relação a redução pronunciada que ocorre entre os dias 01/07 e 07/07/07, a retirada de biomassa ocorre por conta da inclusão de um evento de incêndio natural, o fluxo J28, já descrito em detalhes na seção anterior.

Integrando-se os valores de sequestro e emissão diários simulados para a bacia, o valor resultante é positivo para NPP no período simulado. No ano de 2006, a produção primária líquida anual foi de 60.309 tC, que significa um valor médio de fixação de carbono de  $1,21 \text{ tC ha}^{-1} \text{ ano}^{-1}$ . Em 2007, o valor médio obtido foi equivalente a  $0,25 \text{ tC ha}^{-1} \text{ ano}^{-1}$  e, em 2008, foi de  $0,46 \text{ tC ha}^{-1} \text{ ano}^{-1}$ . Dessa maneira, o modelo gerou valores de NPP que variaram de  $0,25$  a  $1,21 \text{ tC ha}^{-1} \text{ ano}^{-1}$ , valor que está próximo da magnitude de fluxo observado pelo MOD17A3 para a região de Paraíso-MS, que foi de 1,46 em 2006, de 2,98 em 2007, e de  $3,76 \text{ tC ha}^{-1} \text{ ano}^{-1}$  em 2008 (ORNL DAAC, 2010). Esta comparação foi realizada porque os dados de NPP em Paraíso-MS são os únicos gerados pelo LAND MODIS nesta região do Mato Grosso do Sul. É importante ressaltar que o polígono refere-se a uma área de  $49 \text{ km}^2$  ( $7 \text{ km} \times 7 \text{ km}$ ) cuja cobertura vegetal é um mosaico composto por cerrado (savana), agricultura, pastagens e zona urbana, localizado nas

coordenadas de latitude 19.0081 Sul e longitude 53.0282 Oeste (ver Figura 13). Ou seja, trata-se de uma área similar a bacia do Taquarizinho devido à forte ocupação agropecuária (23% agricultura, 60% cerrado, 5% pastagens, e 12% outros), no entanto, quantitativamente, os valores NPP de ambas as regiões são diferentes devido a diferente cobertura vegetal existente na região do Taquarizinho.



Figura 13. Uso do solo no polígono próximo ao município de Paraíso-MS, polígono nomeado *COMPLET 116* (ORNL DAAC, 2010).

Outra forma de observar que o modelo gerou um resultado de NPP positivo na bacia é analisar o resultado da modelagem do estoque de carbono na biomassa (Gráfico 38), que apresenta crescimento líquido ao longo dos três anos de simulação. No entanto, é possível observar que não se trata de um crescimento contínuo, já que existem eventos que subtraem biomassa da bacia de maneira acentuada. Analogamente ao gráfico de NPP, o gráfico de carbono da biomassa apresenta quedas mais pronunciadas próximas aos eventos de colheita de biomassa acumulada em áreas de agricultura, e entre os dias 01/07 e 07/07/07, quando a retirada de carbono biomassa ocorre por conta das queimadas.

Partindo de um valor inicial de 8,66 E8 kg C (equivalente a 17,37 tC ha<sup>-1</sup>), é possível notar que o valor BC na bacia do Taquarizinho, após três anos de oscilações durante a simulação, foi aumentada para 9,61 E8 kg C (ou 19,28 tC ha<sup>-1</sup>), principalmente devido ao sequestro de carbono em biomassa de mata nativa na bacia.

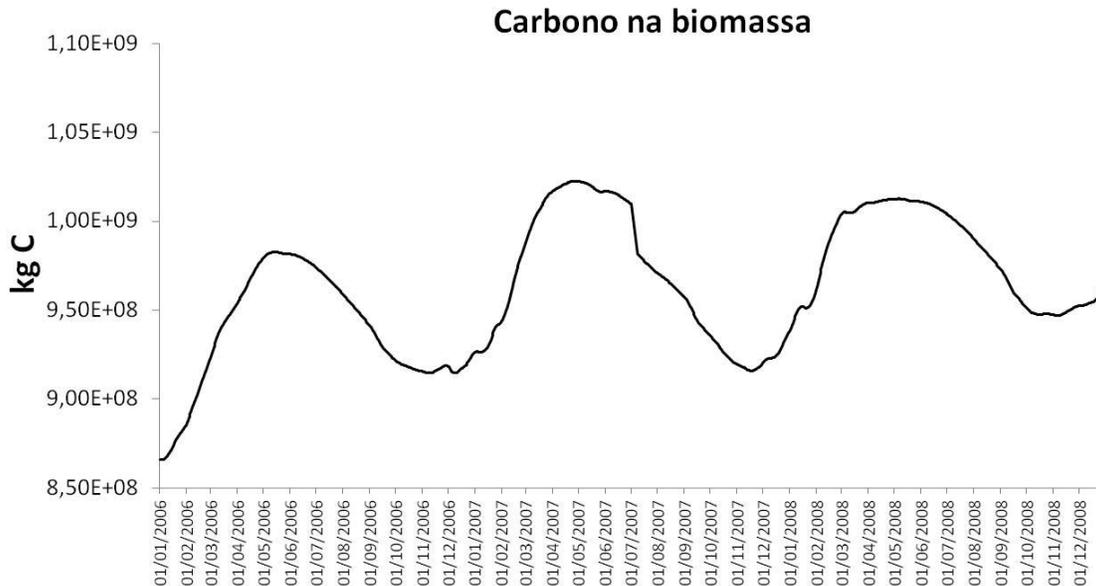


Gráfico 38. Simulação do estoque de carbono na biomassa (aérea+subterrânea) na bacia do Taquarizinho entre os anos 2006 e 2008.

Em relação à dinâmica da liteira e detritos (estoque LDC), esta é influenciada pelo fluxo de entrada de deposição de liteira acima do solo e de detritos abaixo do solo (fluxo J22), pelo carbono que decai e é incorporado ao solo (J23) e pelo carbono decomposto para a atmosfera (J24). No Gráfico 39 estão representadas as dinâmicas dos fluxos J22, J23 e J24, respectivamente. Observa-se que o pico de produção de liteira e detritos (J22) ocorre no período do outono e inverno, quando os valores chegam a patamares médios de  $4 \text{ E}5 \text{ kg C d}^{-1}$ , ou  $8 \text{ kg C ha}^{-1} \text{ d}^{-1}$ . No entanto, observam-se picos isolados de J22, tal como o observado no dia 3/12/06, que ocorreu devido a um valor muito baixo de índice de área foliar ( $\text{LAI}=0,17$ ) observado na bacia (Gráfico 39c). Visto que o valor médio de LAI na bacia é próximo a 1,25, um valor tão baixo de LAI pode indicar perda de folhagem devido à redução da área do dossel da vegetação. O Gráfico 39d, por sua vez, mostra que a “perda” de carbono de LDC que é incorporado ao solo (J23) acompanha a tendência de produção de liteira e detritos. Ou seja, quanto mais liteira e detritos subterrâneos estão disponíveis para decomposição, maior será o fluxo de carbono incorporado ao solo. No caso do Gráfico 39e, é possível observar a dinâmica de decomposição de LDC que gera carbono para atmosfera (J24) apresenta uma lógica invertida, sendo que a maior perda de carbono de LDC ocorre na época das chuvas (outubro a março), ocorrendo uma desaceleração deste fluxo durante os períodos de estiagem e com menores temperaturas.

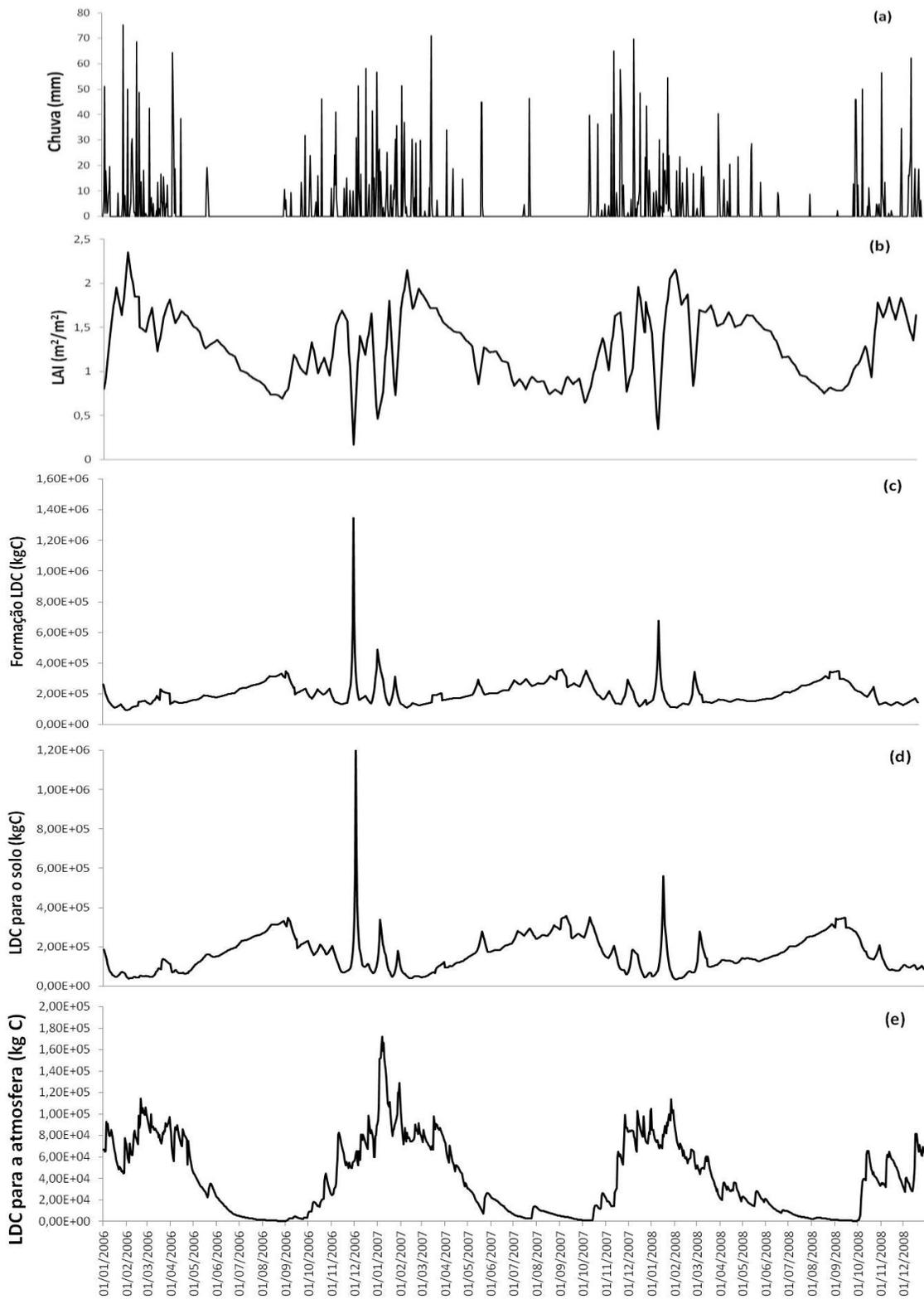


Gráfico 39. Dinâmica do índice de pluviosidade (a), área foliar (b), dos fluxos de produção de LDC (c), LDC incorporado pelo solo (d), e LDC decomposto para a atmosfera (e). Fluxos em kg C d<sup>-1</sup>.

Considerando a dinâmica dos principais fluxos que interferem na formação e no dreno do estoque LDC, é possível observar, no Gráfico 40, o comportamento sazonal do estoque relativo à liteira. É possível observar que existe um ciclo bem definido de acúmulo de carbono no estoque de liteira e detritos durante o período de outono e inverno, quando o valor atinge um máximo de 5 E5 kg C – equivalente a 10 kg C ha<sup>-1</sup> – e de decomposição da mesma, quando o estoque é reduzido ao patamar de 2 E5 kg C na bacia, que equivale a um valor médio de 4 kg C ha<sup>-1</sup>.

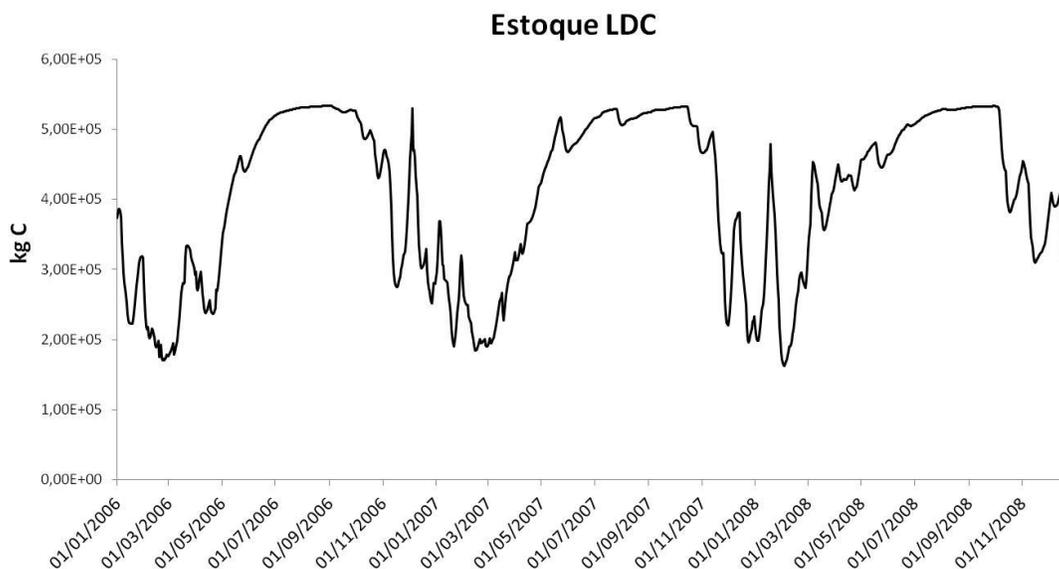


Gráfico 40. Dinâmica do estoque de liteira simulado para o Taquarizinho entre 2006-2008.

Observando o Gráfico 40, nota-se que, entre o começo e o final de 2006, o estoque LDC sofreu uma redução dos iniciais 3,74 E5 para 2,89 E5 kg C na bacia do Taquarizinho, significando uma redução média de 1,71 kg C ha<sup>-1</sup> ano<sup>-1</sup>. No ano seguinte, o valor observado era 2,17 E5 kg C, demonstrando que houve uma nova redução no estoque de LDC, cuja taxa de perda foi equivalente a 1,56 kg C ha<sup>-1</sup> no ano de 2007. Ao final do ano de 2008, o valor de LDC foi aumentado para 3,12 E5 (incremento de 2,14 kg C ha<sup>-1</sup>ano<sup>-1</sup>); no entanto, tal incremento não foi suficiente para recuperar o estoque ao patamar inicial, observado em janeiro de 2006. Em relação ao período simulado de três anos, houve uma redução líquida de LDC em 5,62 E4 kg C, que equivale a uma taxa média de -1,13 kg C ha<sup>-1</sup> ano<sup>-1</sup>.

Em relação ao carbono do solo (SC), sabe-se que a principal entrada de carbono deve-se ao fluxo J23 da serapilheira e detritos que são decompostos e são incorporados ao solo, já representada no Gráfico 39d. Outra fonte de carbono para SC, em menores

quantidades, é originada da oxidação de metano (J26) na superfície do solo por bactérias metanotróficas, cujo valor médio foi de  $5 \text{ E2 kg C d}^{-1}$  na bacia, ou ainda  $3,68 \text{ kg C ha}^{-1}\text{ano}^{-1}$  no período de 2006 a 2008. Conforme mostrado no Gráfico 41b, os picos de oxidação ocorrem no final das épocas de estiagem, quando a umidade do solo é mínima e o fluxo na bacia supera o valor de  $7,5 \text{ E2 kg C d}^{-1}$ .

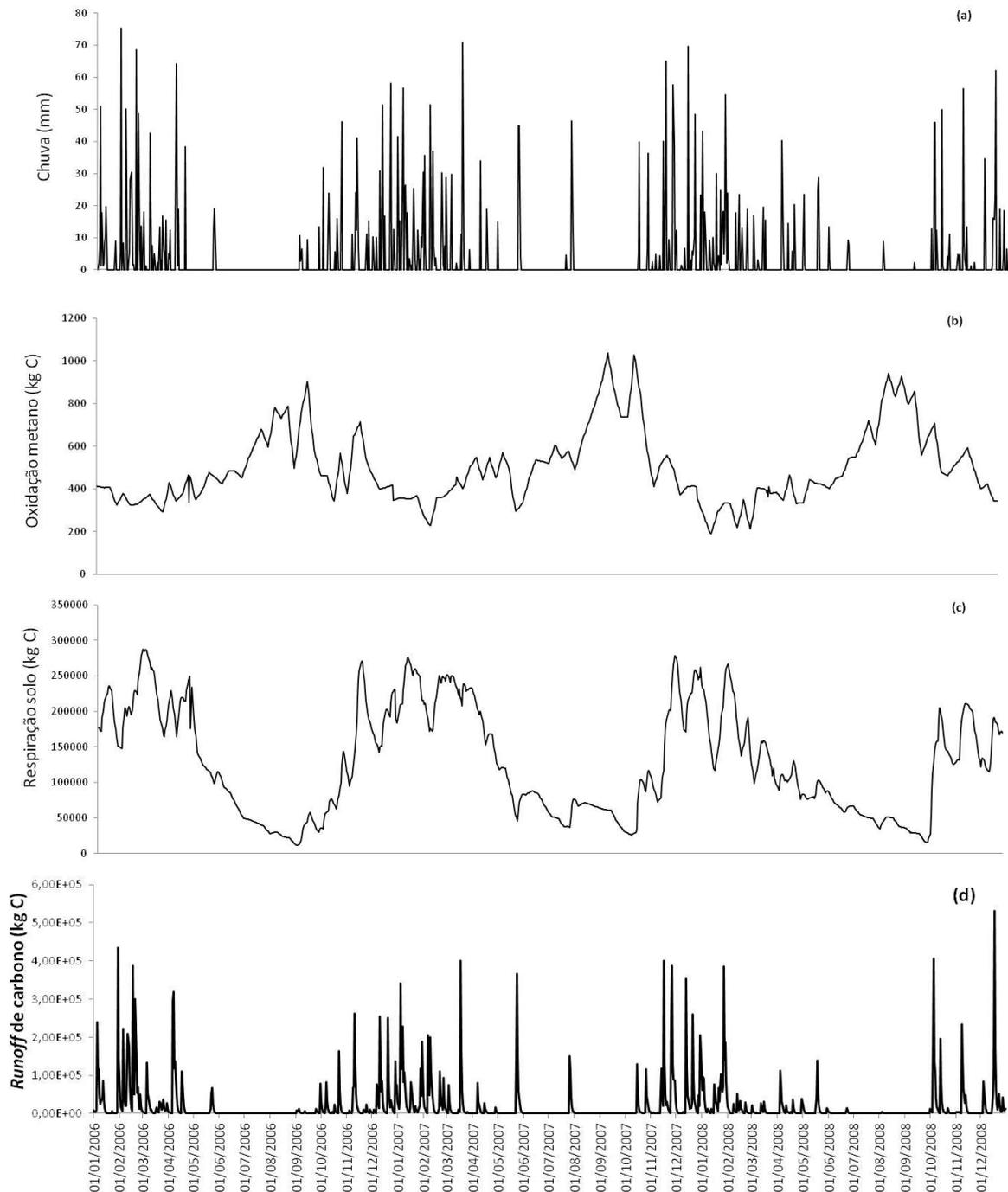


Gráfico 41. Dinâmica dos fluxos de (a) pluviosidade, (b) oxidação de metano, (c) respiração do solo, e (d) runoff de carbono. Fluxos de carbono em  $\text{kg C d}^{-1}$ .

Em relação à respiração do carbono no solo (Gráfico 41 c), observa-se que a maior taxa de decomposição de matéria orgânica do solo para a atmosfera coincide com o período em que o solo da bacia do Taquarizinho está úmido devido às chuvas da estação, quando os picos de respiração atingem quase  $3 \text{ E}5 \text{ kg C}$  em um dia. Adicionalmente, é durante o período úmido do ano que o solo perde carbono devido ao *runoff* (ver Gráfico 41d), que carrega partículas do solo – incluindo o carbono orgânico total – via escoamento superficial, em taxas que ultrapassam  $5,00 \text{ E}5 \text{ kg C d}^{-1}$ . O valor de respiração do solo foi de  $1,52 \text{ E}8 \text{ kg C}$  ao longo dos três anos simulados, que equivale a uma taxa média de  $1,02 \text{ tC ha}^{-1} \text{ ano}^{-1}$ . No caso da perda de carbono do solo por *runoff*, a perda total foi de  $2,35 \text{ E}7 \text{ kg C}$ , equivalente a  $0,16 \text{ tC ha}^{-1} \text{ ano}^{-1}$ .

Computando-se todas as entradas e saídas de carbono no solo, observa-se, no Gráfico 42., o comportamento geral do estoque de SC durante o período 2006-2008. Observa-se que há redução no período de chuvas, quando existem os picos de decomposição do carbono para a atmosfera e o auge das perdas por runoff. No início da estação seca (dia 30/05/06), a taxa de entrada de carbono em SC vindo da liteira e detritos no solo (J23) supera as taxas de saída via decomposição (J25) e runoff (J27), fazendo com que haja aumento no valor de SC. Com a volta das chuvas, as taxas J25 e J27, somadas, ultrapassam o valor de entrada J23, fazendo com que haja nova redução do estoque de carbono no solo. Ao final dos três anos simulados, no entanto, houve um acréscimo líquido discreto no valor do estoque do solo, pois o valor inicial de  $49,85 \text{ E}8 \text{ kg C}$  foi aumentado para  $49,90 \text{ E}8 \text{ kgC}$ . Ao longo dos três anos, o incremento de carbono em SC foi de  $0,09 \text{ tC ha}^{-1} \text{ ano}^{-1}$  na bacia do Taquarizinho, valor derivado das taxas parciais de  $-0,09 \text{ tC ha}^{-1} \text{ ano}^{-1}$  em 2006, de  $0,00 \text{ tC ha}^{-1} \text{ ano}^{-1}$  em 2007 e  $0,19 \text{ tC ha}^{-1} \text{ ano}^{-1}$  em 2008. Esses valores calculados pelo modelo encontram-se dentro da faixa de saldo de carbono do solo reunidas por Batle-Bayer, Batjes e Bindraban (2010) devido à conversão de vegetação natural de Cerrado em áreas agropecuárias<sup>17</sup>. Segundo os autores, existe a taxa média de perda de carbono orgânico no solo de  $-0,1 \text{ tC ha}^{-1} \text{ ano}^{-1}$ , derivada da faixa observada que varia de  $-0,3$  a  $+0,1 \text{ tC ha}^{-1} \text{ ano}^{-1}$ .

---

<sup>17</sup> Batle-Bayer, Batjes e Bindraban (2010) reuniram valores de estudos anteriores que mediram o conteúdo de carbono no solo durante períodos de 5 a 34 anos nos estados de GO,MS, DF e MG antes e após a conversão das áreas para cultivos de soja, arroz, milho, trigo e pastagens. O valor médio foi baseado em estudos relacionados a diversos tipos de solo, sob diferentes fisionomias anteriores de Cerrado (Campo Cerrado, Cerrado uns. e Cerrado s.s.).

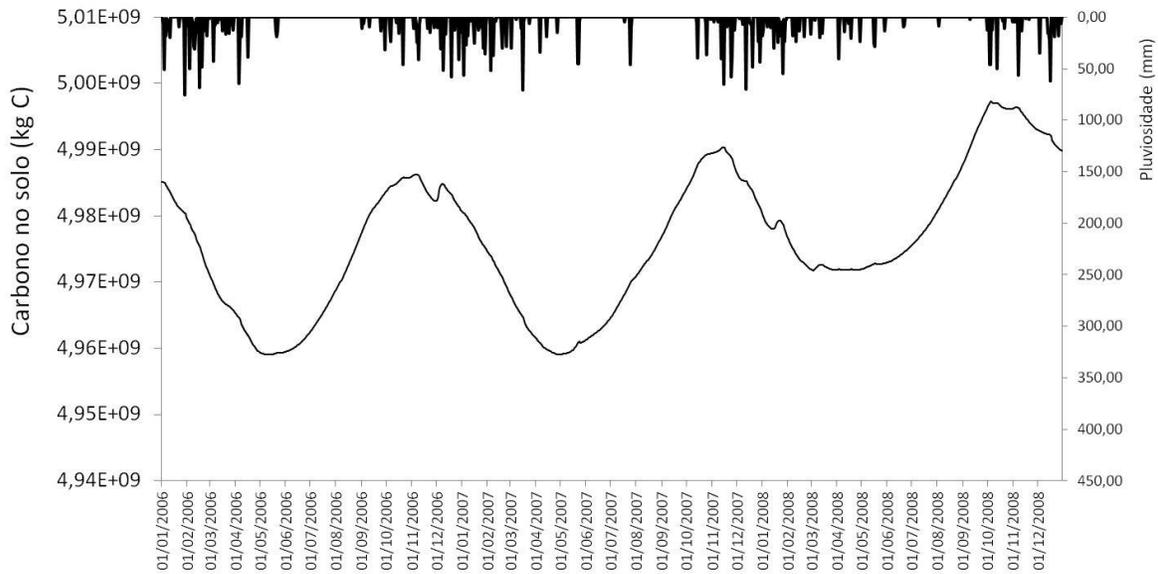


Gráfico 42. Dinâmica do valor simulado de carbono contido no solo na bacia do Taquarizinho entre 2006-2008.

Através do cálculo de todos os fluxos de carbono existentes na bacia do Taquarizinho, é possível computar o valor da troca líquida de carbono na bacia em termos de carbono em base diária. O Gráfico 43 mostra a oscilação de NCE (*Net Carbon Exchange*) ao longo dos três anos, que alterna períodos de sequestro (valores positivos) e de emissão líquida diária de carbono (valores negativos).

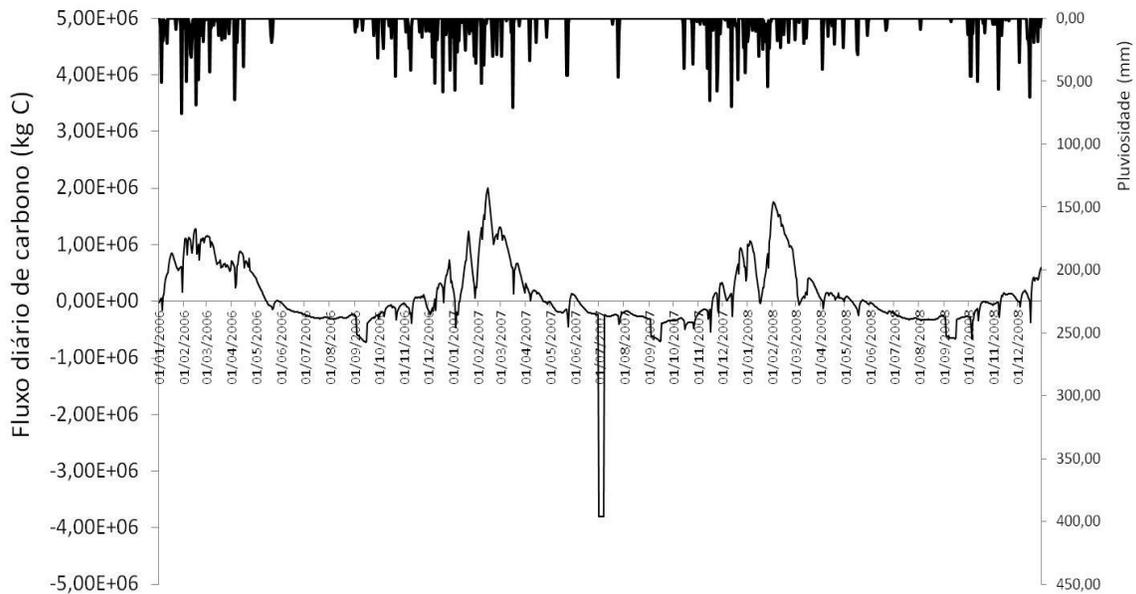


Gráfico 43. Dinâmica simulada para troca líquida diária de carbono na bacia do Taquarizinho (2006-2008).

Analogamente ao gráfico de NPP, ocorrem quedas abruptas no valor de NCE devido aos eventos de colheita (J29) de biomassa acumulada em áreas de agricultura, que subtraem carbono da bacia num período de aproximadamente duas semanas. Em relação a redução pronunciada que ocorre entre os dias 01/07 e 07/07/07, a retirada de biomassa ocorre por conta da queimada.

Ao longo do ano de 2006, houve um sequestro líquido na bacia do Taquarizinho da ordem de 5,57 E8 kg C, que equivale a taxa média de absorção de 1,12 tC ha<sup>-1</sup>ano<sup>-1</sup>. No ano de 2007 houve um sequestro líquido menor, de 1,22 E8 kgC, o que equivale a uma fixação média de 0,24 tC ha<sup>-1</sup>ano<sup>-1</sup>, possivelmente devido ao evento de queimada que eliminou parte do carbono da biomassa aérea e da liteira acima do solo nas áreas de Cerrado e pastagens. No ano seguinte, a bacia do Taquarizinho apresentou novamente sequestro líquido de 3,27 E8 kg C, que representa um ganho médio de 0,66 tC ha<sup>-1</sup>ano<sup>-1</sup>. Durante o período de três anos de simulação, o valor agregado de NCE foi de 10,06 E8 kgC, equivalente a uma taxa média de +0,67 tC ha<sup>-1</sup>ano<sup>-1</sup>, indicando que a bacia do Taquarizinho seria um fixador de carbono dado o uso e ocupação do solo no período de 2006 a 2008.

### *5.3. Dinâmica emergética dos serviços de carbono*

Os serviços ecossistêmicos do ciclo do carbono estarão relacionados aos fluxos de J20 a J29 do modelo hidro-carbono. Neste trabalho, consideraremos três tipos de serviços principais na bacia, que estão vinculados ao balanço entre entradas e saídas nos principais estoques de carbono na bacia:

- (i) sequestro/emissão de carbono na biomassa vegetal viva (CB);
- (ii) sequestro/emissão de carbono nos detritos e serapilheira (LDC);
- (iii) sequestro/emissão de carbono no solo (SC).

Esses serviços do carbono podem ser calculados em base diária, anual, ou bianual, a partir das equações 41, 42, e 43 do modelo, descritas anteriormente, as quais descrevem a taxa de acúmulo ou perda de carbono nos estoques CB, LDC e SC, respectivamente. Dentro do atual contexto de excesso de emissão de gases de efeito estufa e de sua potencial contribuição para o agravamento das mudanças climáticas, entende-se que o acúmulo líquido de carbono nos compartimentos da bacia é um serviço ecossistêmico e que a emissão líquida seria um desserviço. Com o intuito de compreender os serviços, primeiramente mostramos os resultados das as equações 41,

42 e 43 que fornecem a dinâmica de acúmulo ou perda mássica diária de carbono nos compartimentos da bacia, como apresentado nos gráficos 44 a, b e c abaixo.

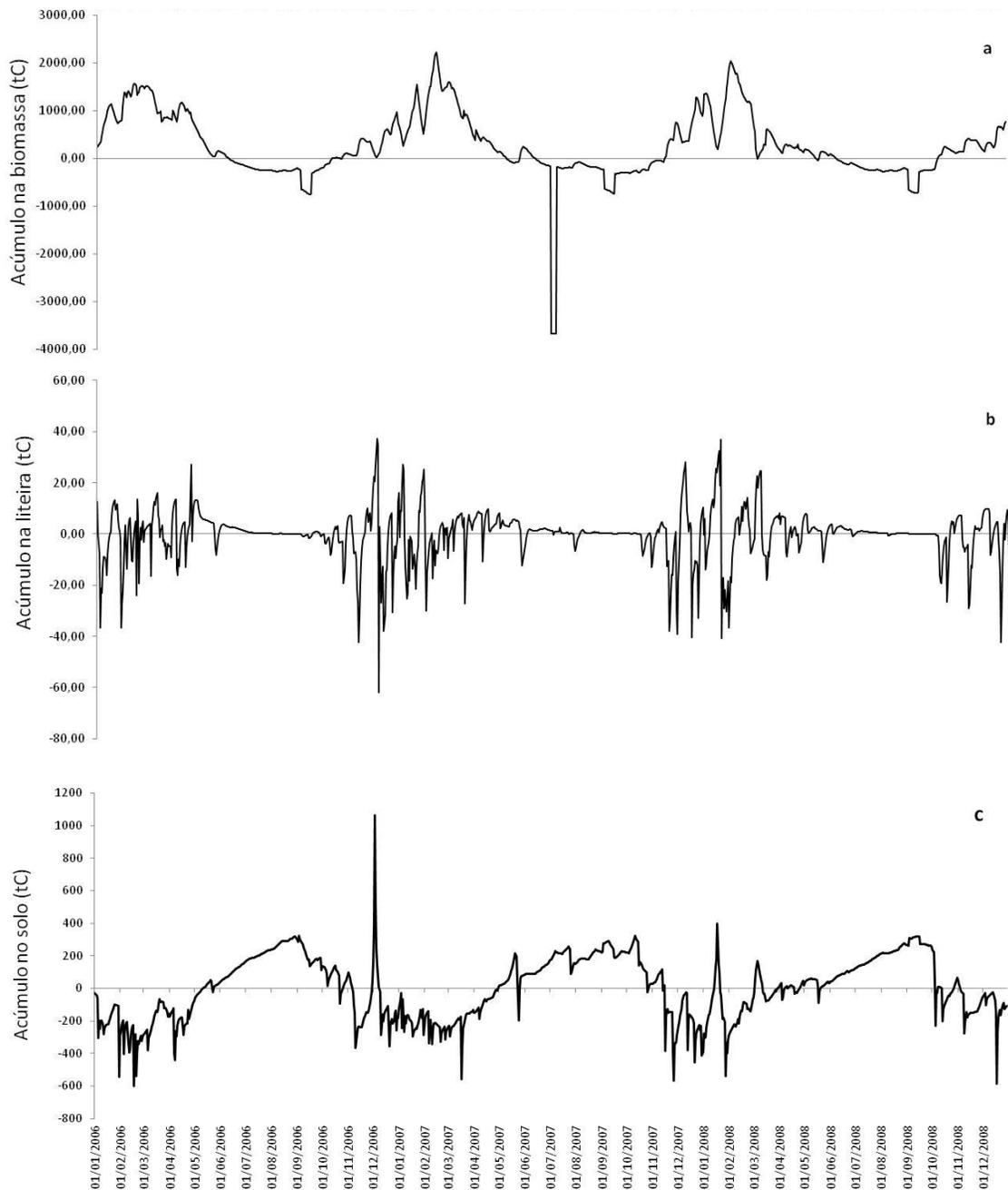


Gráfico 44. Variação diária do acúmulo de carbono na Bacia do Taquarizinho (uso 2006-2008), ao longo de dois anos, para os estoques de biomassa (a), liteira (b), e solo (c).

Nos gráficos acima, os valores positivos referem-se aos incrementos de carbono no estoque avaliado. Os valores negativos referem-se às emissões diárias que ocorreram durante a simulação para os compartimentos da biomassa, liteira e solo. Observa-se que,

ao longo de três anos de simulação, houve um acúmulo de carbono na biomassa viva (acima e abaixo do solo), da ordem de 95.436 tC, o que equivale a um sequestro de 1,91 tC no triênio, que equivale a uma média  $+0,64 \text{ tC ha}^{-1}\text{ano}^{-1}$ . No caso da biomassa morta na serapilheira acima e abaixo do solo (LDC), houve uma redução neste estoque, equivalente a -56 tC ao longo de três anos, ou um valor médio de  $-0,001 \text{ tC ha}^{-1}\text{ano}^{-1}$ . No caso do estoque de carbono no solo, o mesmo sofreu um aumento de 4.642 tC durante o período simulado, o que equivale a um sequestro médio de  $0,09 \text{ tC ha}^{-1}\text{ano}^{-1}$ .

Em caráter complementar, torna-se necessário entender qual a dinâmica de tais serviços em termos monetários, ou de seus valores em Emdólares (EM\$) de acordo com a metodologia emergética. A valoração dos serviços ecossistêmicos relacionados ao sequestro de carbono na bacia será baseada em trabalho anterior de Prado-Jatar e Brown (1997) que se utilizaram da metodologia emergética para a contabilidade do valor em equivalentes de energia solar da produção primária bruta (GPP) de sistemas naturais e agrícolas existentes em área de savana tropical na Venezuela. De acordo com esse estudo, a principal entrada de energia que sustenta a produção primária bruta em área natural está associada ao fluxo de água utilizada por evapotranspiração pelo ecossistema. Da mesma forma, o estudo de Brown e Bardi (2001) sugere que seja contabilizada a evapotranspiração como principal contribuição ambiental para a produção de biomassa e liteira em floresta de *Eucalyptus* spp. e *Melaleuca* spp no sul do Estado da Flórida. Percebe-se, portanto, que a valoração emergética de um processo do ciclo do carbono está associada a um fluxo hidrológico, ideia que é compatível com o modelo hidro-carbono, o qual busca relacionar ambos ciclos biogeoquímicos. É importante salientar também que na energia da evapotranspiração, calculada nas seções anteriores, já foram incluídas as devidas parcelas das memórias energéticas da energia solar, da chuva e da água que entra na bacia pelos canais e por fontes subterrâneas (ver Figura 14).

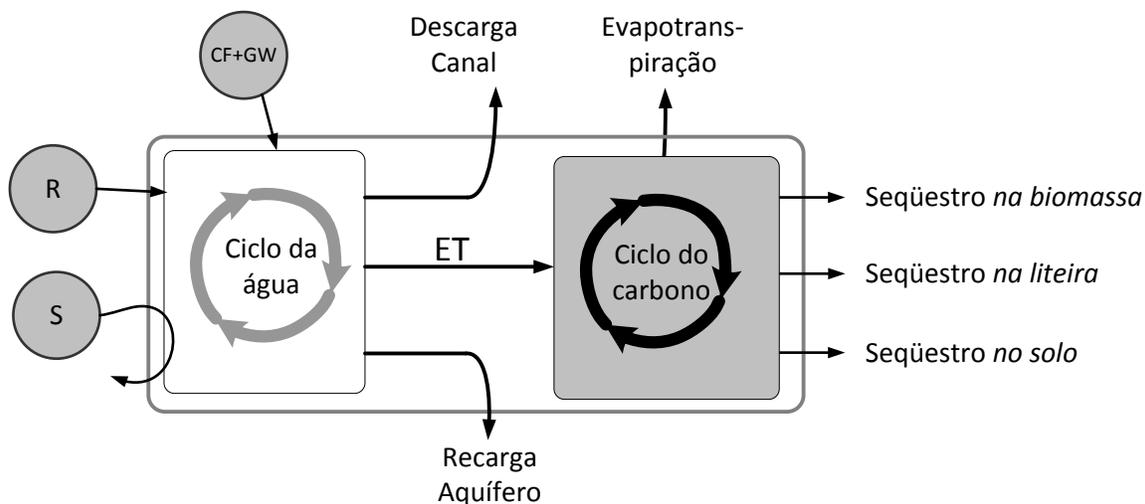


Figura 14. Representação da evapotranspiração e dos serviços ecossistêmicos do ciclo do carbono a ela associados.

No caso da biomassa agrícola, além da energia da evapotranspiração, sabe-se que também existem as energias dos materiais e serviços necessários para sua produção devido aos fertilizantes, implementos e mão de obra voltada para a maximização da produção. No caso da soja no Brasil, os valores das entradas não naturais (materiais e serviços da economia humana) utilizados já foram contabilizadas em estudo de Ortega et al. (2005) que realizaram a contabilidade emergética da produção de soja convencional brasileira, cujo valor médio encontrado para energia dos inputs da economia humana foi de 4,64 E15 sej por hectare por ano<sup>18</sup>. No entanto, o valor da entrada devido ao input da economia (F) não será considerado no cálculo dos serviços ecossistêmicos. Esta consideração tem duas razões especiais. A primeira é que toda a energia investida na produção agrícola através de insumos, implementos e mão de obra não permanece na mesma, visto que essa energia é exportada da bacia após a colheita. A segunda razão para não incluir a entrada de energia da economia (F) está relacionada ao fato de que entradas não renováveis para a bacia aumentariam os valores dos serviços ecossistêmicos do carbono prestados em localidades fortemente ocupadas por agricultura: tal adição de energia dos materiais e serviços ocasionaria um maior valor para os serviços ecossistêmicos da agricultura, aumentando seu valor em termos EM\$ por hectare. Assim, serviços do carbono de áreas agrícolas superariam os valores de bacias preservadas cujo ciclo de carbono é sustentado somente pela energia renovável da evapotranspiração. Portanto, para que haja uma base de comparação equitativa entre

<sup>18</sup> Média encontrada entre os valores dos inputs devido ao feedback da economia, que variaram entre F=4,81 E15 sej e F= 4,47 E15 sej por hectare por ano, no caso do sistema químico e de herbicidas, respectivamente.

os valores dos serviços de carbono de bacias preservadas e agrícolas, será considerado apenas o input emergético de evapotranspiração, que é renovável e comum tanto em sistemas agrícolas quanto preservados.

Dessa forma, a contabilidade dos processos do carbono em toda a Bacia do Taquarizinho considerará a ocupação no solo em um cenário Preservado, sem a interferência de entradas não renováveis de energia de materiais e serviços da economia. Dessa forma, será necessário reconstruir tal cenário de preservação com a finalidade de se conhecerem os fluxos de água e carbono que possibilitarão o cálculo dos valores da tonelada de carbono (EM\$ tC<sup>-1</sup>) e dos respectivos serviços em termos de Emdólares por hectare por ano (EM\$ ha<sup>-1</sup>ano<sup>-1</sup>).

Portanto, o modelo hidro-carbono Preservado foi calibrado considerando um estoque de biomassa primitivo, ou seja, simulando 100% de cobertura vegetal como sendo Cerrado. Foi considerado um valor de produção primária bruta de 23 kgC ha<sup>-1</sup>d<sup>-1</sup> baseado no valor médio observado em um polígono<sup>19</sup> de 3km por 3km de extensão com predomínio de mata nativa na Bacia do Taquarizinho ao longo de dez anos (ORNL DAC, 2010). O fluxo de evapotranspiração médio utilizado na calibração foi de 2,07 mm d<sup>-1</sup>, sendo 1,95 mm d<sup>-1</sup> para transpiração e 0,12 mm d<sup>-1</sup> para evaporação, baseado em informações do mesmo conjunto de polígonos. Para a etapa de calibração do cenário Preservado, foi assumido um valor de troca líquida de carbono (NCE) de 0,2 Mg C ha<sup>-1</sup>ano<sup>-1</sup>, já que áreas de Cerrado em maturidade podem atuar como um sumidouro de carbono de acordo com Rocha et al. (2002). Considerando o cenário Preservado (ver tabela abaixo), considerou-se um evento de fogo, similar àquele observado nas condições da simulação para os anos 2006-2008. Além disso, no cenário Preservado não há perdas por colheita devido à ausência de agricultura ou pecuária na bacia. O valor de calibração do fluxo de carbono devido a respiração no solo (J25) foi baseado na equação de balanço de massa do carbono na Bacia do Taquarizinho, considerando o valor de troca líquida de carbono de 0,2 Mg C ha<sup>-1</sup>ano<sup>-1</sup>. Como mostrado na Tabela 18, os valores de *runoff* (J4) e dos demais fluxos hidrológicos que compõem a etapa de calibração são os mesmos já mostrados anteriormente na calibração do modelo hidrológico para o cenário Preservado. A principal mudança, em termos hidrológicos, é que a pluviosidade considerada para os três anos de simulação foi aquela referente aos anos 2006-2008 na Bacia do Taquarizinho (ANA, 2011).

---

<sup>19</sup> Polígono inserido da Bacia do Taquarizinho ocupado apenas por mata nativa cujo ponto central apresentava Latitude: -18.943553 e Longitude: -54.775806, e área de 49km<sup>2</sup>, referente a um quadrado de 7km x 7km.

Tabela 18. Descrição das informações de entradas, fluxos e estoques para calibração de modelo hidro-carbono, cenário Preservado.

Nota	Descrição	Variável	Calibração			Referência
			Valor	Unidade	Valor de k	
<b>Entradas</b>						
1	Precipitação	R	1396	mm.ano <sup>-1</sup>		ANA (2011)
2	Luz solar	S	1	adimensional		Tilley e Brown (2006)
3	Escoamento de base	CF+GW	3,97 E5	m <sup>3</sup> .d <sup>-1</sup>		ANA (2011)
4	Temperatura	T	30,1	°C		ORNL DAAC (2010)
5	Índice de área foliar	LAI	1,25	adimensional		ORNL DAAC (2010)
<b>Fluxos</b>						
6	Volume de chuva precipitada	J2	1,91 E6	m <sup>3</sup> .d <sup>-1</sup>	1	ANA (2011)
7	Escoamento superficial	J4	2,51 E4	m <sup>3</sup> .d <sup>-1</sup>	7,86 E-10	Barsanti et al. (2003)
8	Ação da capilaridade vertical	J5	4,99 E3	m <sup>3</sup> .d <sup>-1</sup>	8,44 E-5	Tilley e Brown (2006)
9	Infiltração no solo	J7	1,83E6	m <sup>3</sup> .d <sup>-1</sup>	3,20 E-1	Balanço, J2+J5-J4-J8
10	Evaporação no terreno	J8	4,99 E4	m <sup>3</sup> .d <sup>-1</sup>	1,34 E-2	ORNL DAAC (2010)
11	Evaporação no canal	J9	1,13 E4	m <sup>3</sup> .d <sup>-1</sup>	1,71 E-2	ORNL DAAC (2010)
12	Ação da capilaridade vertical	J10	4,99 E3	m <sup>3</sup> .d <sup>-1</sup>	5,88 E-5	Tilley e Brown (2006)
13	Insolação no terreno	JR	0,65	adimensional	-	Tilley e Brown (2006)
14	Percolação para o lençol	J11	8,62 E5	m <sup>3</sup> .d <sup>-1</sup>	1,33 E-2	Balanço, J7-J13
15	Produção bruta terrestre	J12	2,34 E6	kg.d <sup>-1</sup>	1,27 E-11	ORNL DAAC (2010)
16	Transpiração terrestre	J13	9,70 E5	m <sup>3</sup> .d <sup>-1</sup>	1,33 E-11	ORNL DAAC (2010)
17	Perda de biomassa terrestre	J14	1,94 E6	kg.d <sup>-1</sup>	-	Modelo hidro-carbono
18	Saída do aquífero superficial	J15	8,51 E5	m <sup>3</sup> .d <sup>-1</sup>	5,69 E-3	Balanço, entrada=saída
19	Troca aquífero/canal	J16	4,99 E3	m <sup>3</sup> .d <sup>-1</sup>	-1,14 E-3	Tilley e Brown (2006)
20	Descarga do canal (linear)	J18	2,11 E5	m <sup>3</sup> .d <sup>-1</sup>	2,08 E-1	Assumiu-se 50% descarga
21	Descarga do canal (quadrática)	J19	2,11 E5	m <sup>3</sup> .d <sup>-1</sup>	2,04 E-7	Assumiu-se 50% descarga

Tabela 18. Cont.Informações de entradas, fluxos e estoques para calibração de modelo hidro-carbono, cenário Preservado.

Nota	Descrição	Variável	Calibração			Referência
			Valor	Unidade	Valor de k	
22	Fotossíntese(GPP)	J20	1,17 E6	kgC d <sup>-1</sup>	1,59 E-11	ORNL DAAC (2010)
23	Respir. Autótrofa	J21	7,95 E5	kgC d <sup>-1</sup>	3,54 E-5	ORNL DAAC (2010)
24	Produção de LDC	J22	1,74 E5	kgC d <sup>-1</sup>	1,25 E-4	Parron, Bustamante e Prado (2004)
25	Carb. LDC p/ solo	J23	1,22 E5	kgC d <sup>-1</sup>	1,87 E-6	Balanço, J23=J22-J24
26	Respiração LDC	J24	5,23 E4	kgC d <sup>-1</sup>	7,32 E-10	Estimado, Lapola (2007)
27	Respiração solo	J25	1,70 E5	kgC d <sup>-1</sup>	3,68 E-13	J25=NCE-(J20+J26-J22-J23-J24 -J27-J28-J29)
28	Oxidação metano	J26	4,78 E2	kgC d <sup>-1</sup>	1,33 E5	Estimado, Cardoso et al. (2001)
29	Runoff carbono	J27	2,59 E3	kgC d <sup>-1</sup>	2,07 E-11	USLE, Goedert (1985)
Estoques						
30	Biomassa terrestre por m <sup>2</sup>	BU	3,49 E9	kg	-	Bustamante et al.(2006), Fearnside (1996), e Cavalett (2008)
			3,47	kg.m <sup>-2</sup>	-	
31	Carbono biomassa aéreo subterrânea	BC AGBC BGBC	1,74 E9	kg C	-	-
			6,98 E8	kg C	-	Batle-Bayer, Batjes e Bindraban (2010)
			1,05 E9	kg C	-	Batle-Bayer, Batjes e Bindraban (2010)
31	Carbono do solo	SC	4,99 E9	kg C	-	Brossard et al. (1997), Braz et al. (2004)
32	Carbono liteira Liteira acima solo Detrito subterrâneo	LDC LC DC	1,46 E5	kg C	-	Aduan, Klink e Davidson (2002)
			5,83 E4	kg C	-	Estimado, Batle-Bayer, Batjes e Bindraban (2010)
			8,75 E4	kg C	-	
			5,72 E6	m <sup>3</sup>	-	Estimado, Tilley e Brown (2006)
33	Estoque superficial profundidade média	SD	11,48	mm	-	ANA (2011)
			6,48 E7	m <sup>3</sup>	-	-
34	Umidade do solo profundidade média	USM	130	mm	-	Inmet (2010)
			-	-	-	-
35	Volume do lençol profundidade média porosidade média	SA	1,50 E8	m <sup>3</sup>	-	Girard et al. (2003), Manzione (2007)
			2	m	-	Estimado
			15	%	-	Gastmans et al. (2010)
36	Água nos Canais Comprimento total	CW	1,02 E6	m <sup>3</sup>	-	Embrapa CNPTIA (2011)
			249.673	m	-	Embrapa CNPTIA (2011)

	profundidade		0,45	m	-	<i>Ide e Ribeiro (2009)</i>
	largura		9,05	m	-	<i>Ide e Ribeiro (2009)</i>
37	Área da bacia	AU	498.514.329	m <sup>2</sup>	-	-
	Mata Nativa	AN	498.514.329	m <sup>2</sup>	-	<i>Assumido para cenário Preservado</i>
	Agricultura (soja)	AA	0	m <sup>2</sup>	-	<i>Assumido para cenário Preservado</i>
	Pastagens	AP	0	m <sup>2</sup>	-	<i>Assumido para cenário Preservado</i>

### 5.3.1. Valoração emergética por tonelada de carbono

Para fins de cálculo, tornou-se necessário rodar o modelo hidrocarbono na condição do cenário Preservado, como mostrado acima, e conhecer os valores diários da energia da evapotranspiração, que foi considerada como a base para a valoração dos processos de carbono. No caso do dia 01/01/2006, como mostra a Tabela 19, a energia da evapotranspiração foi de 4,47 E16 sej, de acordo com a abordagem preferencial adotada nesse trabalho (*split*).

Tabela 19. Cálculo do empower input para o ciclo do carbono em toda a Bacia do Taquarizinho no dia 1/01/2006.

Nota	Fluxo	Energia (sej d <sup>-1</sup> )
ET	Evapotranspiração	4,47 E16
	<b>Empower input</b>	<b>4,47 E16</b>

\* Desconsiderando-se a energia de materiais e serviços que sustentam a produção de biomassa em áreas agrícolas.

No Gráfico 45 é possível observar a dinâmica de variação diária do empower da evapotranspiração para manutenção do ciclo do carbono, onde os valores máximos diários atingem picos na magnitude de até 1,60 E18 sej d<sup>-1</sup>, e os mínimos são valores próximos a zero devido a estação seca, onde o fluxo de evapotranspiração pode não ocorrer ou atingir patamares muito baixos devido à escassez de água, fazendo com que a entrada de energia para o ciclo do carbono seja quase nula.

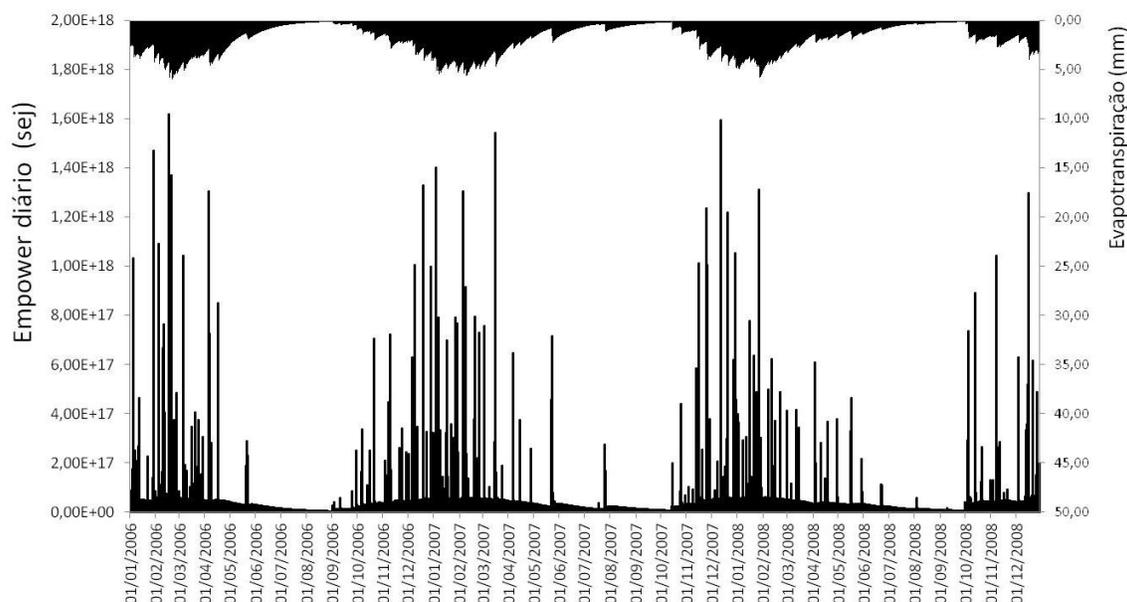


Gráfico 45. Variação diária da energia de evapotranspiração para o ciclo do carbono na Bacia do Taquarizinho em três anos, para ocupação e uso do solo referente ao período 2006-2008.

Baseando-se nos valores diários de entradas de energia (*Empower* diário) para os processos do carbono, considerar-se-á a abordagem *split* para o cálculo dos valores de energia por massa dos três serviços principais de carbono na bacia: sequestro na biomassa, sequestro na liteira, e sequestro no solo. Analogamente ao cálculo realizado para o ciclo hidrológico, todo o *empower* diário será distribuído para os três principais serviços do carbono, respeitando as magnitudes das suas frações mássicas (ver Figura 15 e Figura 16).

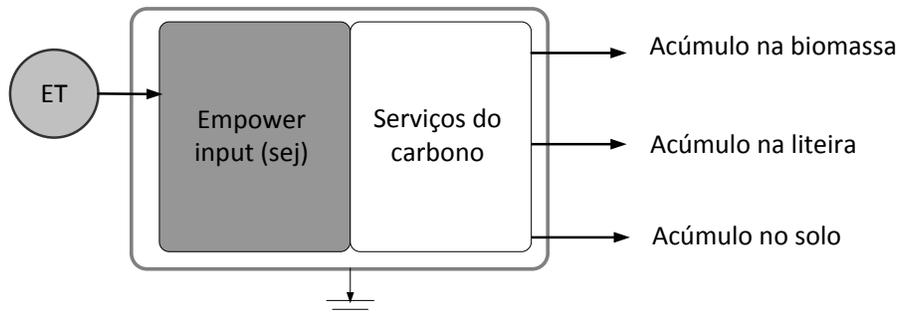


Figura 15. Ilustração das entradas de energia para a geração dos serviços do carbono.

No caso do primeiro dia de simulação (01/01/2006), para as condições de uso da Bacia do Taquarizinho no cenário Preservado, os valores dos fluxos de massa foram de 56,47 tC, 12,52 tC, e 11,81 tC para os serviços de acúmulo na biomassa, na liteira e no solo, respectivamente. Portanto, as respectivas frações mássicas (69%, 16%, e 15%) foram consideradas para atribuição do fluxo de energia de cada um dos serviços, como mostrado na Figura 16. Assim, no primeiro dia de simulação, a energia no sequestro de biomassa será de 69% em relação ao total (4,47 E16 sej), que equivale a 3,08 E16 sej. Para os outros fluxos, foi feito o mesmo cálculo, respeitando sua fração mássica em relação ao fluxo total.

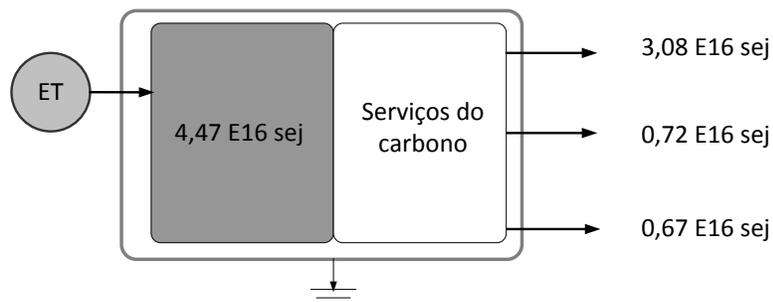


Figura 16. Atribuição dos fluxos de energia dia 01/01/2006 para os serviços do carbono.

Como já sabido, a Figura 17 mostra que os valores de energia por massa (sej/tC) serão os mesmos para os três serviços em determinado dia devido à escolha da abordagem *split*. No caso do primeiro dia de simulação, esse valor de energia solar por tonelada de carbono foi de 5,53 E14 para os três fluxos.

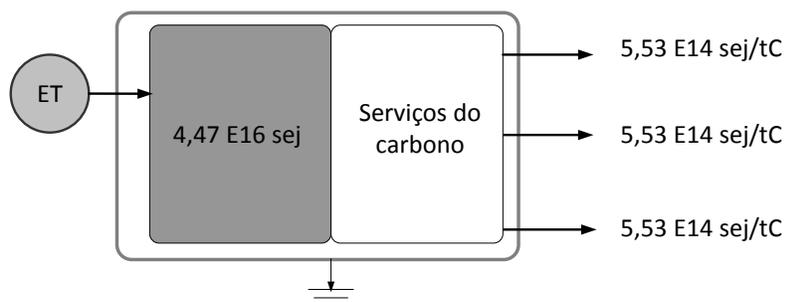


Figura 17. Valores de energia por massa simulados para os serviços de acúmulo de carbono na biomassa, na liteira e no solo no dia 01/01/2006.

Considerando-se o fator de conversão energia-dólar do Brasil, que é de 4,85 E12 sej USD<sup>-1</sup> (PEREIRA, 2012), pode-se calcular o valor associado a cada tonelada de carbono, em base diária. Em relação ao dia 01/01/2006, o valor é obtido dividindo-se o valor de energia por massa (5,53 E14 sej tC<sup>-1</sup>) pelo fator de conversão energia dólar, obtendo-se então um valor monetário equivalente a EM\$ 113,99 para cada tonelada de carbono sequestrada na bacia nesse dia. A tabela a seguir apresenta os valores mínimos e máximos para o período simulado, também mostrados no Gráfico 46.

Tabela 20. Valores monetários para a tonelada de carbono , utilizando a abordagem *split*, para a Bacia do Taquarizinho no período de 2006-2008.

Valores	Energia por massa (sej tC <sup>-1</sup> )	Emdólar por massa (EM\$ tC <sup>-1</sup> )
Mínimo	2,33 E12	0,48
Médio	2,29 E14	47,12
Máximo	1,71 E16	3.517,09

No Gráfico 46, abaixo, mostram-se se os valores durante três anos de simulação na Bacia do Taquarizinho, referente ao mapa de uso do solo do período 2006-2008, para a energia por massa e em dólares por massa, comuns para os três serviços do carbono. Observa-se que a energia por massa varia entre 2,33 E12 e 1,71 E16 sej tC<sup>-1</sup>, com um valor médio ao longo de três anos equivalente a 2,29 E14 sej tC<sup>-1</sup>. Em relação aos valores em termos monetários, o valor oscilou entre EM\$ 0,48 e 3.517,09 tC<sup>-1</sup>, sendo que a média

foi de EM\$ 47,12 tC<sup>-1</sup>. Os picos nos valores de energia por massa e dinheiro por massa referem-se a períodos em que a proporção de entrada de energia para o ciclo do carbono (principalmente devido à evapotranspiração após um evento de chuva) foi elevada em relação ao pequeno fluxo de carbono naquele dia na bacia.

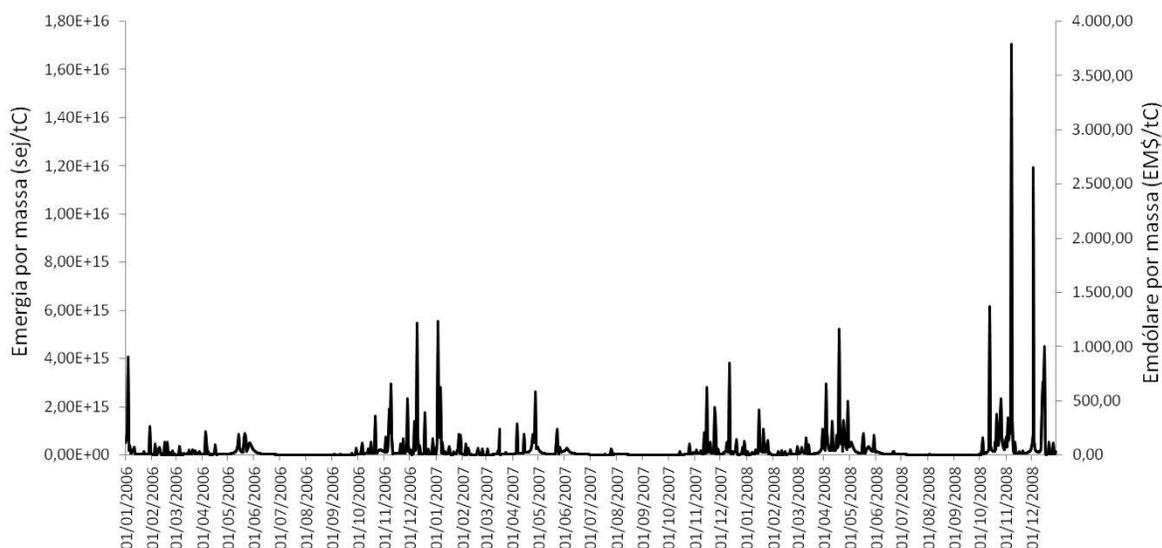


Gráfico 46. Valores de energia por massa (sej tC<sup>-1</sup>) e em dólares por massa (EM\$ tC<sup>-1</sup>) para os fluxos de carbono na Bacia do Taquarizinho, mapa de uso referente ao período 2006-2008.

### 5.3.2. Valoração energética por serviço de carbono na Bacia do Taquarizinho

Em relação a valoração de serviços de carbono para toda a área da Bacia do Taquarizinho, o cálculo será realizado efetuando-se a multiplicação dos fluxos mássicos diários (tC d<sup>-1</sup>) pelo valor de Emdólar por massa médio do período simulado de três anos (EM\$ tC<sup>-1</sup>), de maneira que o resultado final seja expresso em termos de Emdólares diários (EM\$ d<sup>-1</sup>). Para a valoração do carbono, o valor de emdólares por tonelada apresentou grande variabilidade (desde EM\$ 0,48 até EM\$ 3.500 por tC), conforme mostrou a Tabela 18. Assim, torna-se mais prudente, nesse caso, utilizar o valor médio diário (EM\$ 47,12 por tC ao longo de três anos de simulação), afim de padronizar o valor de carbono para diferentes cenários.

Observa-se, no Gráfico 47, que o serviço de fixação de carbono na biomassa (equivalente ao NPP) apresenta valores positivos (serviços) e negativos (desserviços) ao longo dos anos de simulação. Essa sazonalidade demonstra que a bacia hidrográfica atua ora como fixadora, ora como emissora de carbono pela vegetação ao longo do ano. O

valor máximo simulado para o serviço de fixação de carbono pela vegetação foi de EM\$ 286.946,00, no dia 12/02/2007, que ocorreu durante o final do período de chuvas na bacia. Por outro lado, o maior desserviço, ou seja, o maior valor monetário negativo relativo a emissão de carbono pela vegetação da bacia (-EM\$ 486.294,00) ocorreu no dia 07/07/2007, no pico de emissão de um incêndio natural. Somando-se os valores diários simulados ao longo de três anos, pode-se concluir que a Bacia do Taquarizinho gerou um saldo positivo para fixação na biomassa, equivalente a EM\$ 17.336.154,24 devido à predominância de mata nativa, visto que não há perda da biomassa agrícola ou de áreas com pecuária. Em relação ao valor médio do serviço de fixação considerando-se a área total da bacia e o período de três anos, a cifra é equivalente a EM\$ 115,92 ha<sup>-1</sup> ano<sup>-1</sup>.

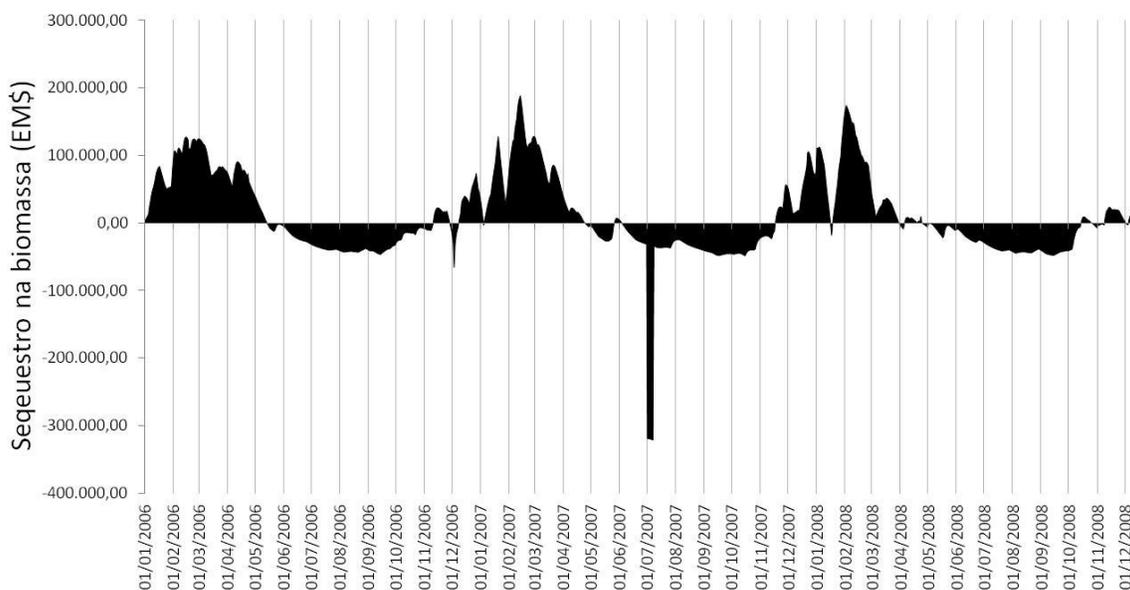


Gráfico 47. Dinâmica do serviço de sequestro de carbono na biomassa da Bacia do Taquarizinho para o cenário Preservado, para pluviosidade 2006-2008.

Em relação ao serviço de armazenamento de carbono na liteira ou serapilheira, a magnitude de seus valores monetários é bastante inferior aos daqueles observados para sequestro na biomassa. No Gráfico 48, nota-se que existem picos de perdas e ganhos diários de carbono, no entanto, os valores médios na bacia como um todo oscilam entre dezenas e centenas de Emdólares por dia. O valor máximo de sequestro de carbono na liteira foi de EM\$ 2.806,00 no dia 19/01/2008, e o mínimo foi uma emissão equivalente a EM\$-4.820,00 no dia 18/01/2008. Somando-se os serviços e desserviços ao longo dos três anos de simulação, o resultado acumulado foi um desserviço próximo a EM\$-

5.504,00, equivalente a um valor de EM\$  $-0,04 \text{ ha}^{-1}\text{ano}^{-1}$ , devido a uma discreta emissão líquida de carbono pela liteira.

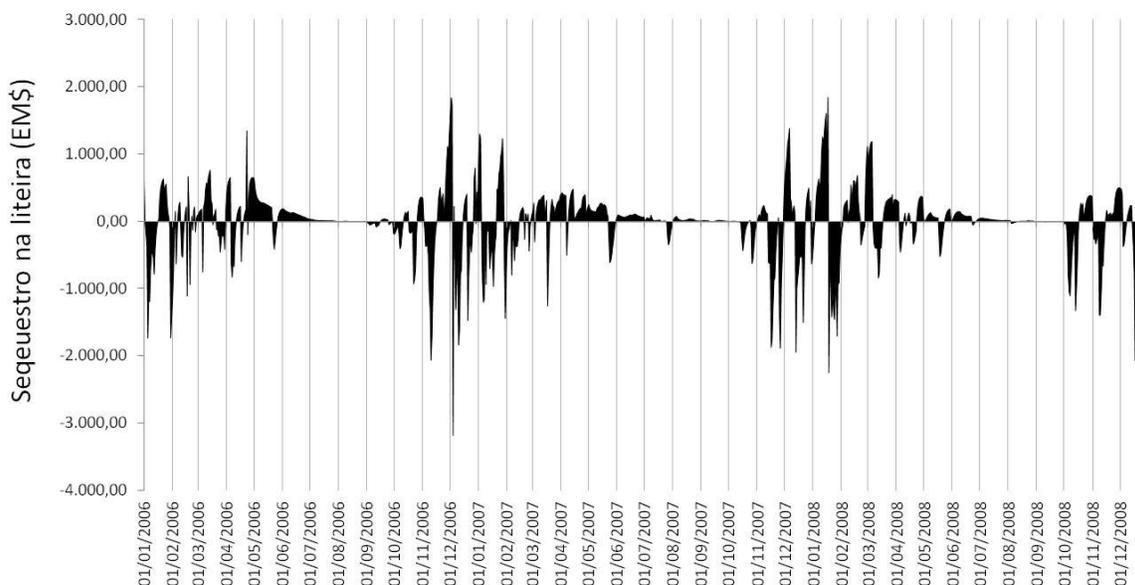


Gráfico 48. Dinâmica do serviço de sequestro de carbono na liteira da Bacia do Taquarizinho no período de 2006-2007.

Em relação ao sequestro de carbono no solo da bacia, o Gráfico 49 mostra que também há uma sazonalidade semelhante, ou seja, o solo atua como ora como prestador de serviço devido ao sequestro, ora como gerador de desserviços dada a emissão de carbono, dependendo do dia simulado. Observa-se nesse gráfico que, durante os períodos úmidos (de outubro a março), o solo atua como um emissor devido à acelerada decomposição da matéria orgânica, e o valor associado a essa emissão pode chegar até EM\$  $-22.812,00$  em um dia, em toda a bacia. No período seco do ano (de abril a setembro), o solo atua como sequestrador de carbono no solo, e o valor do serviço em questão chegou a EM\$  $80.554,00$ , devido a incorporação de carbono no estoque do solo. Ao longo dos três anos simulados, predominou o acúmulo de carbono pelo estoque do solo, cujo valor acumulado foi um ganho de EM\$  $2.441.876,00$ , equivalente a uma média de EM\$  $16,33 \text{ ha}^{-1}\text{ano}^{-1}$ .

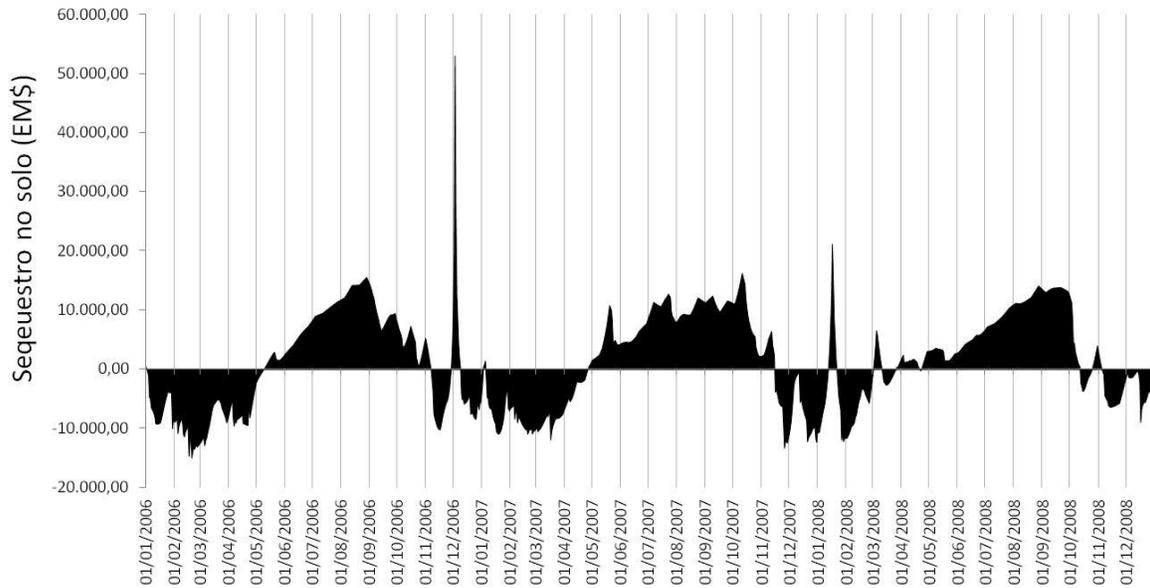


Gráfico 49. Dinâmica do serviço de sequestro de carbono no solo da Bacia do Taquarizinho no período de 2006-2008.

#### *5.4 Impacto do uso e ocupação do solo nos fluxos e estoques de carbono*

Analogamente ao procedimento de valoração dos trade-offs gerados pela alteração do uso e ocupação do solo sob o ponto de vista dos serviços hidrológicos na bacia, essa sessão será dedicada ao cálculo referente às mudanças causadas pela ação antrópica no Taquarizinho no ciclo do carbono. Para tanto, será necessário estabelecer uma comparação entre os resultados da simulação do cenário Preservado com aqueles referentes para o uso da terra de 2006-2008 utilizando o modelo hidro-carbono, baseando-se nas mesmas entradas de pluviosidade do período 2006-2008.

Comparando-se os resultados da simulação com cenário Preservado e com o de 2006-2008, observa-se que há uma mudança nítida em termos de estoques e fluxos de carbono na bacia ao longo dos três anos de simulação. A primeira mudança diz respeito ao valor do estoque da biomassa vegetal na bacia. Como se pode observar no Gráfico 50, a mudança de uso da terra faz com que haja muito menos biomassa vegetal viva: enquanto o cenário Preservado apresenta valores que oscilam na ordem de 2 E9 kg C na bacia, no cenário 2006-2008 essa variação corresponde à metade: 1 E9 kgC.

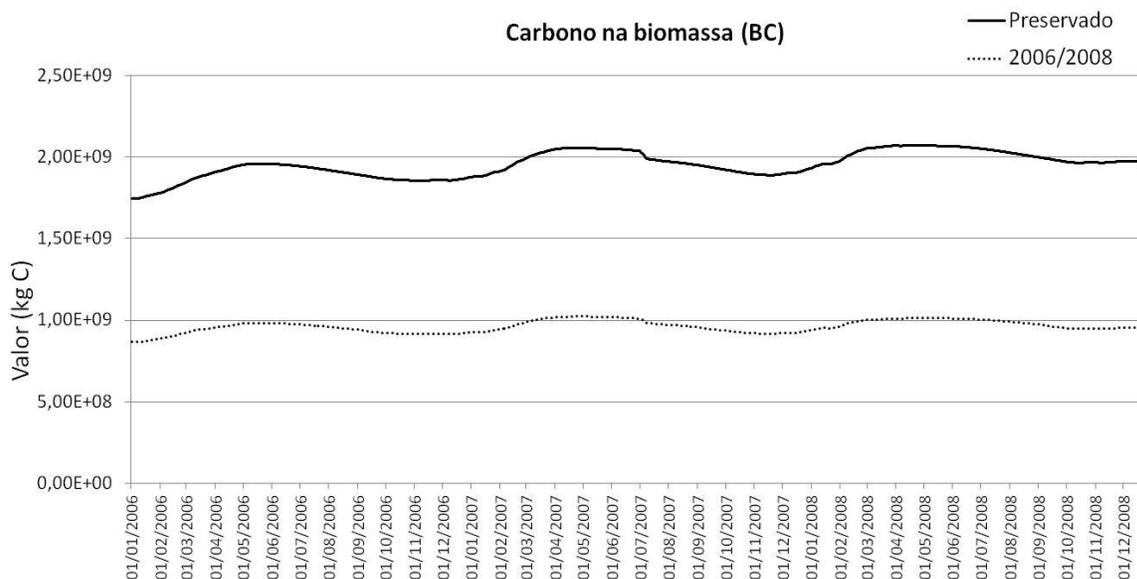


Gráfico 50. Comparação entre os estoques de carbono na biomassa viva da Bacia do Taquarizinho considerando os cenários Preservado e 2006-2008.

Devido à redução na quantidade de biomassa viva na bacia, a principal consequência é a diminuição no valor de produção primária bruta (GPP), visto que um menor valor de biomassa disponível para fotossíntese acarretará em diminuição dessa entrada de carbono no sistema. O Gráfico 51 mostra a diferença de magnitude desse fluxo devido à mudança de uso da terra. As curvas apresentam uma sincronia porque a chuva diária é comum para ambos os cenários. No entanto, observa-se que há uma diferença grande na magnitude dos fluxos da produção primária bruta. Enquanto o cenário Preservado acumulou uma entrada de  $1,48 \text{ E9 kgC}$  ao longo de três anos, essa foi de apenas  $8,92 \text{ E8 kgC}$  no caso 2006-2008. Em termos de massa, o trade-off associado à mudança de uso da terra foi a diferença entre esses dois fluxos: cerca de  $0,59 \text{ E9 kgC}$  em três anos, o que representa uma redução de cerca de 40% no valor de GPP acumulado ao longo do triênio. Considerando a área da bacia e o tempo de simulação, essa perda de GPP é equivalente a uma média de  $3,94 \text{ tC ha}^{-1} \text{ ano}^{-1}$ .

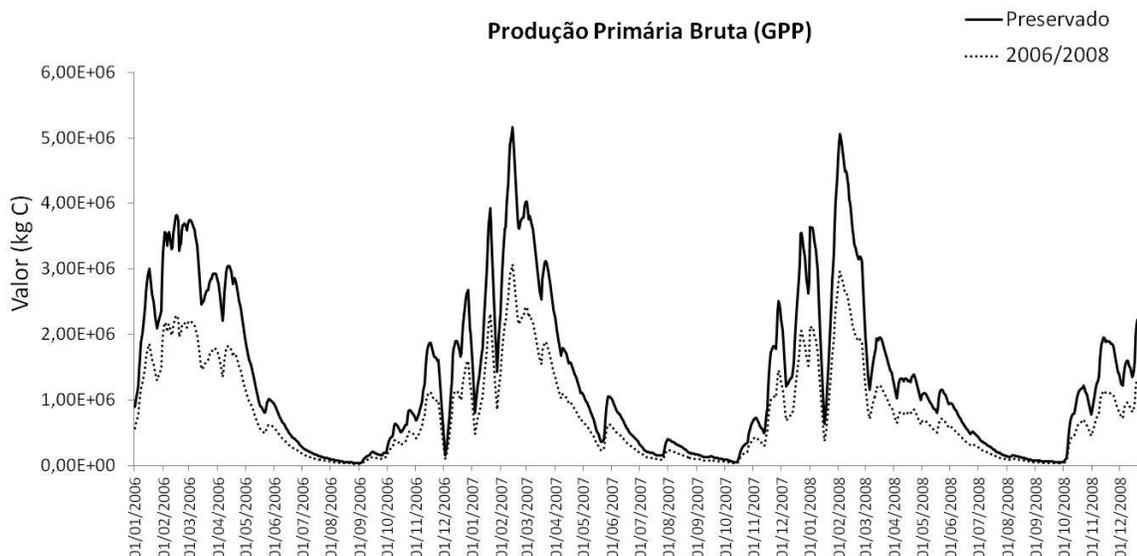


Gráfico 51. Comparação entre as produções primárias brutas da Bacia do Taquarizinho considerando os cenários Preservado e 2006-2008.

Outra comparação importante a ser feita é a questão do impacto da mudança no uso da terra sobre a produção primária líquida na bacia. O Gráfico 52 ilustra como a cobertura vegetal do cenário 2006-2008, onde predominam as pastagens e a agricultura, que é capaz de reter menos carbono ao longo do tempo. Além disso, o processo de colheita implica em perda de parte da biomassa acumulada em áreas de agricultura e de pastagem, fato que reduz ainda mais a capacidade da bacia de reter carbono se comparada ao cenário Preservado. Ao longo dos três anos de simulação, a produção primária líquida na biomassa foi de 2,44 E8 kg C no cenário Preservado, e de 0,96 E8 kgC no cenário 2006-2008. Pode-se dizer que a simulação revela um *trade off* de 1,47 E8 kgC ao longo desse período simulado, o que significa uma perda acumulada de 60% em relação ao cenário Preservado. Em termos médios, a perda de produção primária líquida foi de 0,99 tC ha<sup>-1</sup>ano<sup>-1</sup>, devido à conversão da bacia preservada para as condições agropecuárias observadas no período dos anos 2006-2008.

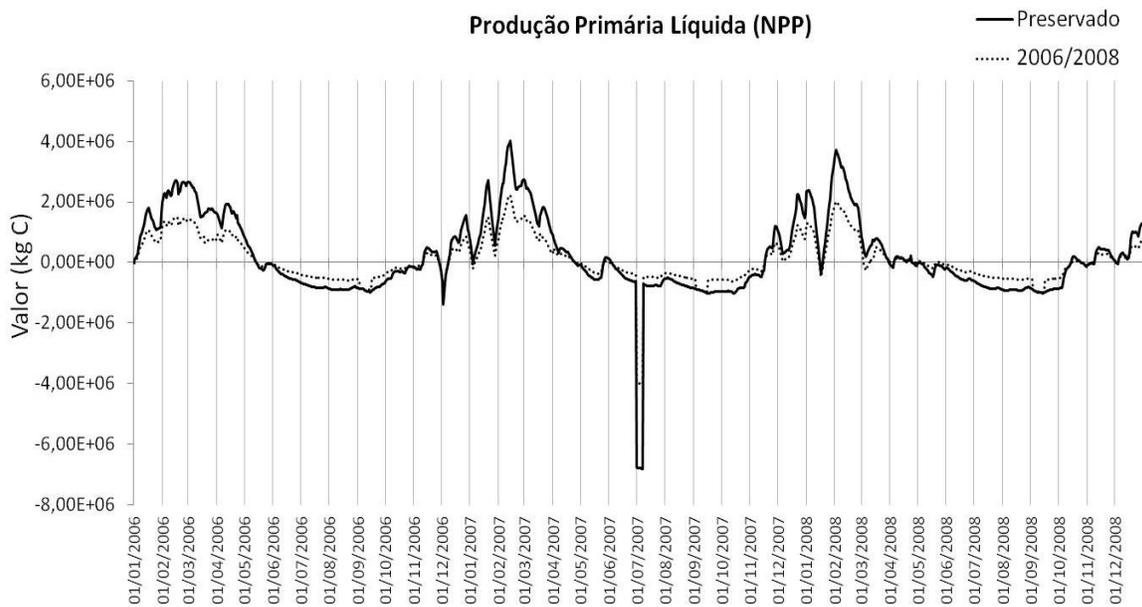


Gráfico 52. Comparação entre as produções primárias líquidas da Bacia do Taquarizinho considerando os cenários Preservado e 2006-2008.

Em termos de estoques de carbono na bacia, observa-se que o estoque de liteira não sofreu grandes alterações entre os dois cenários. Como é possível observar o Gráfico 53, o estoque LDC foi praticamente o mesmo em ambos os cenários, sendo que ao longo de três anos, o valor médio do estoque no cenário Preservado foi de 2,96 E5 kg C e no cenário 2006-2008 de 3,15 E5 kg C na bacia. Em termos médios, a diferença foi praticamente nula, sendo que houve um pequeno incremento de  $0,00000008 \text{ tC ha}^{-1}\text{ano}^{-1}$  no cenário 2006-2008.

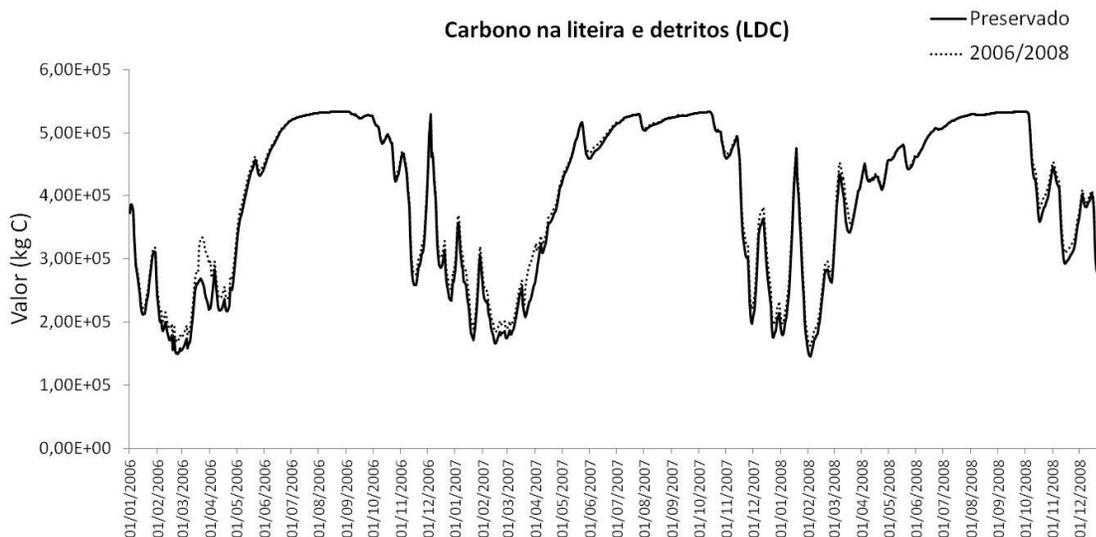


Gráfico 53. Comparação entre os estoques de liteira e detritos (LDC) da Bacia do Taquarizinho considerando os cenários Preservado e 2006-2008.

Em relação ao estoque de carbono no solo (SC), a mudança de uso da terra provocou reduções importantes em seu valor, o que é possível observar no Gráfico 54. Partindo do mesmo valor inicial 4,98 E9 kg C, verifica-se que o estoque de carbono no solo oscila ao longo do período simulado mas é elevado ao patamar de 5,02 E9 kg C no cenário Preservado. No entanto, para o cenário 2006-2008, observa-se um discreto incremento anual no estoque de carbono no solo, que finaliza o período de simulação em 4,99 E9 kg C. Pode-se então inferir que o *trade-off* da mudança de uso no solo foi de - 2,95 E4 tC em três anos, o que significa uma perda comparativa média de 0,20 tC ou 200 kg C por hectare ao ano.

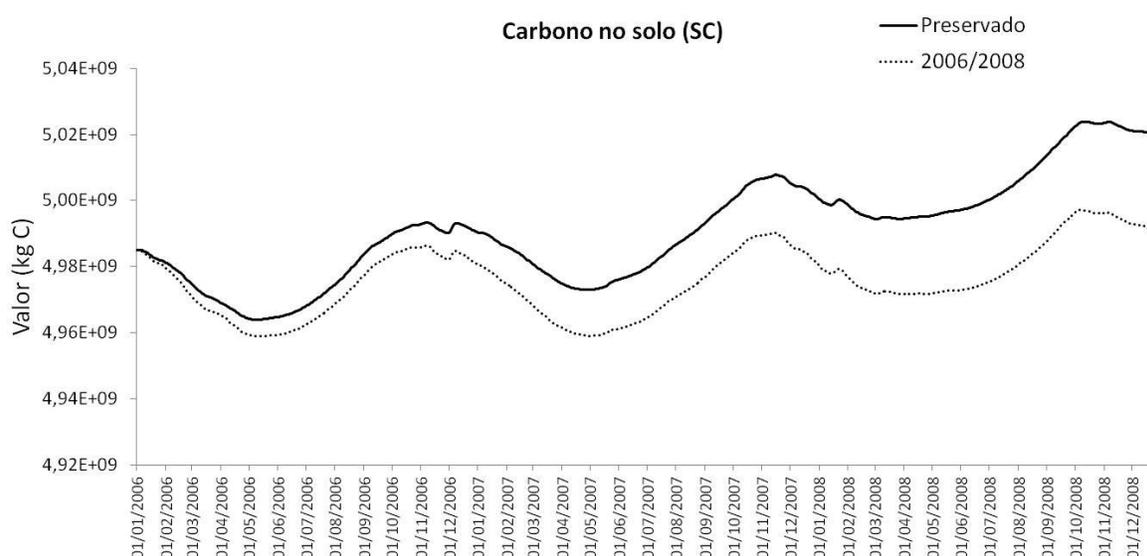


Gráfico 54. Comparação entre os estoques de liteira e detritos (LDC) da Bacia do Taquarzinho considerando os cenários Preservado e 2006-2008.

Outro fluxo importante, relacionado à perda de carbono no estoque do solo é a saída de carbono pelo escoamento superficial na bacia, que é o fluxo J27 do modelo. Quando se compara a perda ocorrida em 2006-2008 (linha pontilhada) com o cenário Preservado (linha cheia) no Gráfico 55, observa-se que a eliminação de cobertura vegetal natural acarreta em maior perda do carbono estocado no solo. Ao longo de três anos simulação, o cenário Preservado exportou 7,42 E3 tC devido ao escoamento superficial, ao passo que essa perda foi de 23,50 E3 tC para as condições de 2006-2008. O *trade off* relacionado à conversão de uma bacia preservada em agropecuária foi, nesse caso, um incremento comparativo de 16,08 E3 tC em três anos, o equivalente a uma média de 107 kg C ha<sup>-1</sup> ano<sup>-1</sup>.

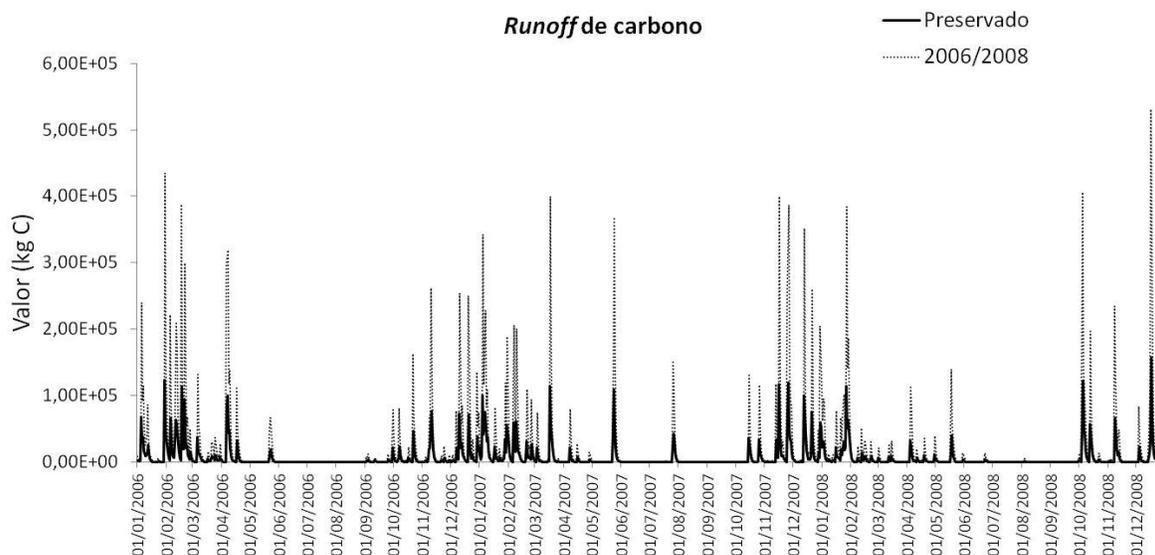


Gráfico 55. Comparação entre os fluxos de runoff de carbono da Bacia do Taquarizinho considerando os cenários Preservado e 2006-2008.

Em relação à troca líquida de carbono (NCE) na bacia hidrográfica do Taquarizinho, ou seja, ao saldo final de carbono na área ao serem considerados todos os fluxos de entrada e de saída do modelo, esse foi de 2,78 E5 tC ao longo dos três anos de simulação no Cenário Preservado (Gráfico 56). Para as condições agropecuárias de 2006-2008, houve um sequestro líquido de carbono em toda a bacia, cerca de 1,01 E5 tC em três anos. Ou seja, levando-se em consideração a troca líquida de carbono no Taquarizinho, há uma perda relativa no potencial de sequestro de carbono na bacia da ordem de -1,77 E5 tC em três anos, o que significa uma taxa média de  $-1,18 \text{ tC ha}^{-1} \text{ ano}^{-1}$ .

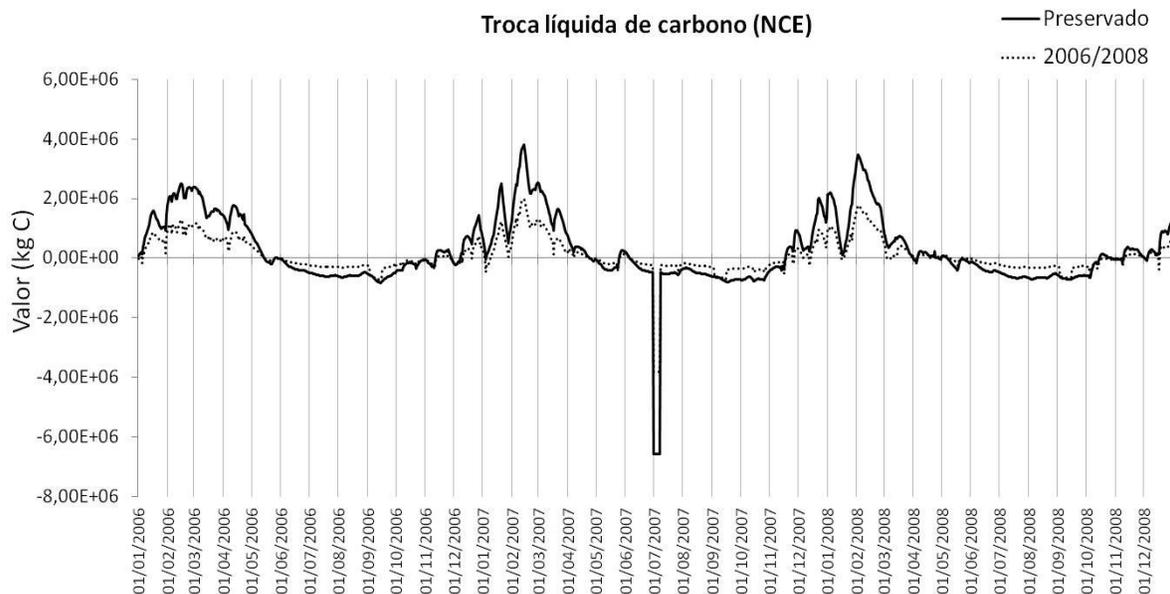


Gráfico 56. Comparação entre as trocas líquidas de carbono da Bacia do Taquarizinho considerando os cenários Preservado e 2006-2008.

A Tabela 21 resume os efeitos da mudança de uso do solo nos principais estoques e fluxos de carbono na Bacia do Taquarizinho, quando se compara a situação do cenário Preservado com a condição agropecuária da simulação para 2006-2008. Nela, observam-se os efeitos simulados da conversão de uma bacia preservada em uso agropecuário sobre os estoques finais de carbono e sobre os fluxos GPP, NPP e *runoff* de carbono. O efeito sobre a troca líquida de carbono (NCE) resume o *trade-off* devido à mudança de uso da terra ao longo dos anos até as condições de 2006-2008.

Tabela 21. Efeito simulado da mudança de uso da terra ao longo de três anos, comparando-se os estoques e fluxos dos cenários Preservado e 2006-2008.

	Cenário Preservado	Cenário 2006-2008	Trade-off* (%)	Trade-off* (tC ha <sup>-1</sup> ano <sup>-1</sup> )
<b>Estoque final (tC)</b>				
Carbono na vegetação (CB)	1,96 E6	0,90 E6	-51,0%	-7,20
Carbono na liteira (LDC)	2,96 E2	3,15 E2	+6,0%	0,00
Carbono no solo (SC)	5,02 E6	4,99 E6	-0,6%	-0,20
<b>Fluxo acumulado (tC)</b>				
Prod. primária bruta (GPP)	1,48 E6	0,89 E6	-40,0%	-3,94
Prod. primária líquida (NPP)	2,44 E5	0,96 E5	-60,7%	-0,99
Runoff de carbono (J27)	7,42 E3	23,50 E3	+216,7%	+0,11
<b>Troca líquida carbono (NCE)</b>	<b>2,78 E5</b>	<b>1,01 E5</b>	<b>-63,7%</b>	<b>-1,18</b>

\* Para um período de três anos de simulação. \*\* Efeito da subtração do valor observado em 2006-2008 pelo observado no Preservado, todos relativos a um valor acumulado em três anos de simulação.

### *5.5 Valoração monetária dos trade-offs devido à mudança de uso da terra*

O principal objetivo dessa seção é traduzir, em termos monetários, o impacto da conversão da bacia em seu estado preservado para uma condição de domínio agropecuário. Para tanto, utilizar-se-á a mesma base de comparação anterior, ou seja, avaliaremos a diferença entre os serviços ecossistêmicos prestados pelo cenário Preservado e pelo uso referente às condições observadas em 2006-2008 na Bacia do Taquarizinho, tendo como base o valor de EM\$ 47,12 por tonelada de carbono.

Como já discutido anteriormente, os principais serviços ecossistêmicos do carbono considerados no modelo hidro-carbono são três: o sequestro de carbono pela vegetação, o sequestro de carbono pela liteira e o sequestro de carbono pelo solo. Analogamente a valoração dos serviços de carbono para o cenário Preservado, foi realizada a quantificação dos valores em unidades de Emdólares por dia para cada um dos serviços gerados na Bacia do Taquarizinho no cenário Preservado.

O Gráfico 57 mostra a diferença entre os valores do serviço de sequestro de carbono na biomassa considerando os dois diferentes cenários. A linha cheia do gráfico mostra que em períodos de chuva o serviço de sequestro de carbono é superior no cenário Preservado. Observa-se também que, nos períodos secos, a emissão de carbono também é maior no cenário Preservado devido à maior respiração por parte de uma vegetação de muito maior porte se comparado ao estoque de biomassa na agricultura e pastagens. No entanto, o cenário 2006-2008 ainda é desvantajoso em relação ao Preservado porque o sequestro de carbono na biomassa em períodos úmidos é menor e, além disso, parte da biomassa da agricultura e das pastagens é colhida e não permanece no sistema.



Gráfico 57. Comparação entre os serviços de sequestro de carbono na biomassa da Bacia do Taquarizinho considerando os cenários Preservado e 2006-2008.

O Gráfico 58 mostra o *trade off* diário, ou seja, a perda diária (quando o valor é negativo) associada ao serviço de sequestro na biomassa devido à conversão da Bacia do Taquarizinho da situação preservada para o uso agropecuário de 2006-2008. Observam-se seis vales abruptos na curva (valores negativos), referentes à perda de carbono pela colheita das áreas com agricultura, que agravaram mais a diferença entre os dois cenários. O pico positivo próximo ao dia refere-se aos dias com incêndio natural, cuja perda de carbono foi maior no cenário Preservado devido à presença de mais quantidade de biomassa vegetal. Embora existam períodos em que exista um benefício temporário no cenário 2006-2008 entre os períodos de chuva, esse não é suficiente para anular sua menor capacidade de reter carbono na biomassa ao longo dos três anos simulados.

Levando-se em conta os três anos de simulação, o valor do serviço de sequestro de carbono na biomassa no cenário Preservado foi de EM\$ 11.414.612,28 na Bacia do Taquarizinho. Comparando tal valor com os EM\$ 4.496.715,92 das condições referentes ao uso em 2006-2008, pode-se calcular que a perda acumulada ao longo do triênio foi de EM\$ 6.917.896,37. Considerando-se a área total da bacia e o tempo de simulação, o *trade off* associado à mudança de uso da terra foi de, em média, de EM\$ -46,26 ha<sup>-1</sup>ano<sup>-1</sup>.

### Trade off de sequestro na biomassa

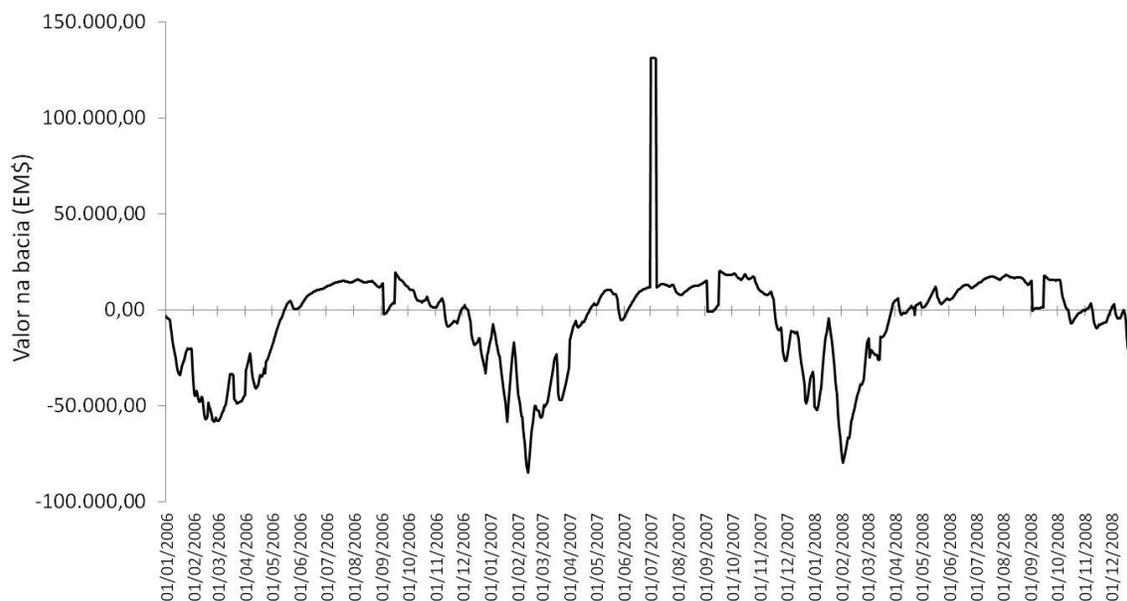


Gráfico 58. *Trade off* associado ao serviços de sequestro de carbono na biomassa da Bacia do Taquarizinho devido conversão do cenário Preservado em condições de 2006-2008.

Em relação ao serviço de sequestro de carbono na liteira, observa-se no Gráfico 59 que os valores são praticamente coincidentes. De fato, o valor acumulado ao longo de três anos de simulação para o cenário Preservado foi de EM\$ -3.650,94, indicando que houve um balanço praticamente nulo, com leve emissão de carbono pela liteira. No caso das condições 2006-2008, o valor acumulado foi de EM\$ -2.772,69, indicando também um equilíbrio entre entradas e saídas de carbono no estoque LDC, também com uma pequena emissão líquida pela liteira da bacia. Como mostra o Gráfico 60, existem ganhos e perdas diárias desse serviço devido a mudança de uso da terra. No entanto o valor acumulado após três anos de simulação é praticamente nulo: EM\$ 878,00 para toda a bacia, o que gera um *trade off* positivo, praticamente nulo em termos de área: EM\$ 0,006 por hectare por ano.



Gráfico 59. Comparação entre os serviços de sequestro de carbono na liteira da Bacia do Taquarizinho considerando os cenários Preservado e 2006-2008.



Gráfico 60. Trade off associado ao serviços de sequestro de carbono na liteira da Bacia do Taquarizinho devido conversão do cenário Preservado em condições de 2006-2008.

Por fim, avalia-se o *trade off* causado pela mudança de uso da terra no serviço de sequestro de carbono no solo. Através da observação do Gráfico 61, pode-se inferir que o uso agropecuário referente a 2006-2008 diminui o potencial de acúmulo de carbono no solo. Enquanto o cenário Preservado gerou um valor acumulado desse serviço positivo, de EM\$ 1.607.800,29 em toda a bacia, o que equivale a um fluxo médio de EM\$ 10,75 ha<sup>-1</sup> ano<sup>-1</sup>, o cenário 2006-2008 apresentou um sequestro de carbono no solo equivalente a EM\$ 218.739,98, o que significa uma taxa média positiva de EM\$ 1,46 ha<sup>-1</sup> ano<sup>-1</sup>. Observa-se, portanto, que em ambos os cenários houve um valor positivo para esse serviço de carbono ao longo dos três anos de simulação, no entanto o cenário 2006-2008 revela uma perda comparativa.



Gráfico 61. Comparação entre os serviços de sequestro de carbono no solo da Bacia do Taquarizinho considerando os cenários Preservado e 2006-2008.

Os valores negativos do Gráfico 62 mostram os *trade offs* derivados da comparação entre os dois cenários, e que a eliminação da vegetação nativa não é vantajosa do ponto de vista da redução da capacidade de captura de carbono no solo da bacia. Apesar de em determinados momentos da simulação existirem ganhos relativos para o cenário agropecuário, principalmente no final do período das chuvas onde as taxas de perda de carbono via respiração no solo são maiores na vegetação nativa, o cenário Preservado apresenta maior poder de sequestro de carbono no solo. Levando-se em consideração o valor agregado do *trade off* da substituição da condição preservada da

bacia pela observada em 2006-2008, o modelo aponta uma perda de EM\$ 1.389.060,00 ao longo dos três anos de simulação, o equivalente a uma perda relativa média de EM\$ 9,29 ha<sup>-1</sup>ano<sup>-1</sup>.

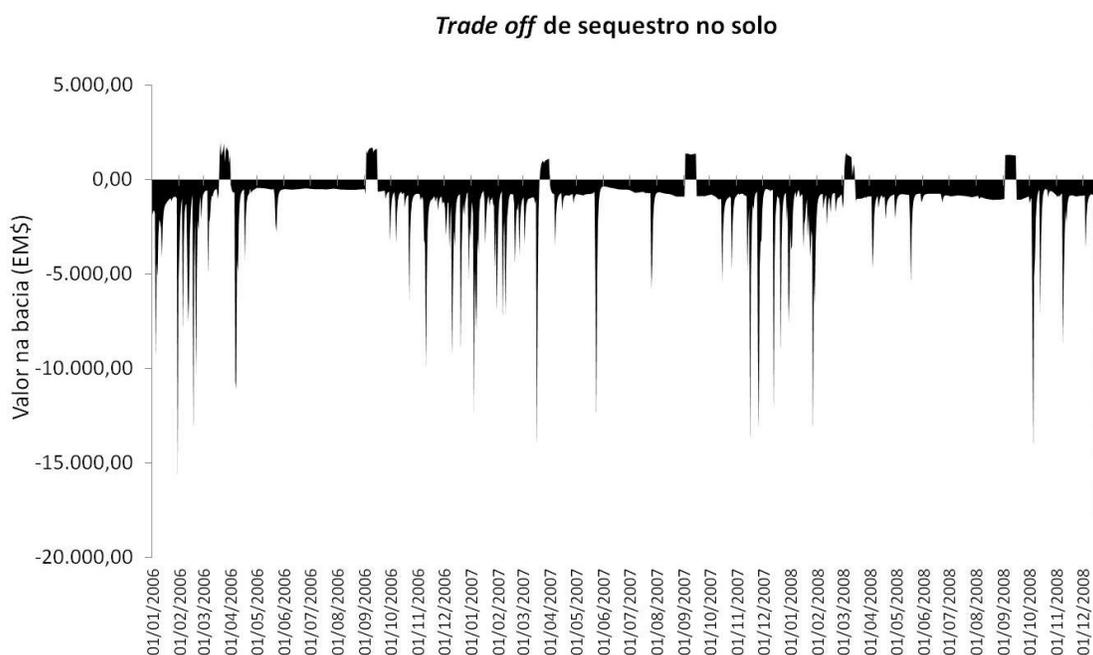


Gráfico 62. *Trade off* associado aos serviços de sequestro de carbono no solo da Bacia do Taquarizinho devido à conversão do cenário Preservado em condições de 2006-2008.

A Tabela 22 resume o comparativo entre os cenários Preservado e 2006-2008 em relação aos serviços do carbono. É possível observar que a bacia no cenário Preservado gera um serviço total de sequestro de carbono de EM\$ 87,05 ha<sup>-1</sup>ano<sup>-1</sup>, somando-se o sequestro na bacia, na liteira e no solo. Já para o cenário 2006-2008, o somatório de serviços é menor, de EM\$ 31,51 ha<sup>-1</sup>ano<sup>-1</sup>, o que significa que o *trade off* total associado aos serviços do carbono é de EM\$ -55,54 ha<sup>-1</sup>ano<sup>-1</sup>, devido a perda na capacidade de sequestro de carbono na biomassa e no solo.

Tabela 22. Efeito da mudança de uso da terra ao longo de três anos nos serviços do carbono, comparando-se os estoques e fluxos dos cenários Preservado e 2006-2008.

Serviços do ciclo do carbono	Cenário Preservado (EM\$ ha <sup>-1</sup> ano <sup>-1</sup> )	Cenário 2006-2008 (EM\$ ha <sup>-1</sup> ano <sup>-1</sup> )	<i>Trade off</i> da conversão (%)	<i>Trade off</i> da conversão (EM\$ ha <sup>-1</sup> ano <sup>-1</sup> )
Sequestro biomassa (CB)	76,32	30,07	-60,6%	-46,26
Sequestro liteira (LDC)	-0,02	-0,02	0%	0,00
Sequestro solo (SC)	10,75	1,46	-86,4%	-9,29
<b>Total</b>	<b>87,05</b>	<b>31,51</b>	<b>-63,8%</b>	<b>-55,54</b>

Para um período de três anos de simulação. Efeito da conversão de Preservado para 2006-2008.

## 6. CONSTRUÇÃO DE CENÁRIOS

Nessa etapa do trabalho, serão construídos cenários com diferentes mosaicos de uso do solo por vegetação nativa, agricultura e pastagens na bacia do Taquarizinho, baseando-se nas tendências observadas pelo mapeamento realizado anteriormente para a bacia e para a região da bacia do Taquari. A construção de cenários terá dois objetivos principais. O primeiro será quantificar, sob cenário otimista ou pessimista, o valor da alteração futura nos serviços ecossistêmicos em termos de EM\$ ha<sup>-1</sup>ano<sup>-1</sup>, de maneira a compreender como a expansão ou a retração das atividades agropecuárias na bacia do Taquarizinho impactaria a provisão de serviços hidrológicos e do carbono na bacia. O segundo objetivo será de obter o valor médio associado à conversão de área com vegetação nativa em um cenário de ocupação máxima por agricultura ou pastagens. Para tanto, foram construídos dois cenários extremos – 80% de agricultura e, posteriormente, 80% por pastagens – com o intuito de eliminar ao máximo mosaico de uso do solo. Dentro de tais cenários, serão visualizadas também as diferenças entre agricultura convencional, de plantio direto, e sistema agroflorestal, bem como a diferença entre pastagens sob bom manejo e em situação de degradação. Assim será possível comparar os resultados dessas simulações extremas com os diversos cenários construídos, tal como o cenário Preservado, a fim de se calcular o valor monetário associado a conversão de um hectare de vegetação nativa em um hectare de agricultura ou pastagem. Ou ainda, será possível visualizar o efeito da conversão de um hectare de pastagem degradada para a agricultura com plantio direto ou sistema agroflorestal.

### *6.1 Cenário 1: predomínio da agricultura*

Algebricamente, o modelo hidro-carbono poderia ser calibrado considerando uma cobertura de 100% da superfície da Bacia do Taquarizinho com agricultura. No entanto, tal cenário não seria factível devido à obrigatoriedade da área reserva legal de propriedades rurais. De acordo com a Lei 4.771/1965, alterada pela Lei 7.803/1989, ou Código Florestal, a Reserva legal é a "área localizada no interior de uma propriedade ou posse rural, excetuada a de preservação permanente, necessária ao uso sustentável dos recursos naturais, à conservação da biodiversidade e ao abrigo e proteção de fauna e flora nativas". De acordo com o artigo 16 do Código Florestal<sup>20</sup>, devem ser conservadas as áreas de Reserva Legal nas propriedades, sendo, no mínimo, 20% nas propriedades

---

<sup>20</sup> Código Florestal vigente no momento de redação dessa tese, antes da aprovação ou veto do novo Código em 2012.

localizadas no Bioma Cerrado. Em áreas localizadas na Amazônia Legal cuja vegetação seja Cerrado, o mínimo é de 35%; caso a vegetação seja de Floresta Amazônica, o mínimo é 80%. Nas demais localidades, tais como aquelas com Mata Atlântica, a reserva legal deve ocupar no mínimo uma área de 20% da propriedade. Portanto, o cenário 1 (predomínio de agricultura) levará em conta uma ocupação hipotética<sup>21</sup> máxima de 80% da Bacia do Taquarizinho pela cultura da soja em rotação com a de milho. Esse cenário pretende avaliar a capacidade máxima de alteração no serviços ecossistêmicos do carbono e da água devido a ocupação pela agricultura. Além disso, serão considerados dois tipos de agricultura conforme a taxa de colheita: agricultura convencional (cenário 1a), onde toda a biomassa acumulada em área de agricultura será retirada da bacia no fluxo J29; e agricultura conservacionista (cenário 1b) com a adoção de plantio direto, onde 60% da biomassa colhida permanece sobre o solo.

Levando-se em conta a área da Bacia do Taquarizinho, de aproximadamente 49.851,44 hectares, serão alocados no cenário 1 um valor equivalente a 39.881,15 ha (80% da área da bacia) com agricultura. A área ocupada por pastagens será nula e, os 9.970,29 ha restantes (20% da área da bacia) serão ocupados por Cerrado. A alocação dos hectares de agricultura e mata nativa em relação às 66 partes da bacia (33 sub-bacias divididas em lado esquerdo e direito do canal principal) estão representados na Tabela 32 do Anexo VII. O critério de alocação de áreas foi baseado no uso e ocupação do solo de 1996, onde parte das áreas que eram de pastagens foram convertidas em agricultura. Para complementar os 80% da área, a agricultura substituiu áreas de mata nativa em locais com menor fator de declividade (L.S) possível, de maneira a não inviabilizar a mecanização na bacia.

Como é possível observar na Tabela 32 do Anexo VII, o cálculo da perda de solo média anual utilizando a USLE é de 24,48 toneladas por hectare. Esse cálculo foi realizado após modificar os fatores  $C=0,1415$  e  $P=0,2$  da equação para expressar a nova cobertura do solo nas sub-bacias ocupadas anteriormente por pastagens ou mata nativa. Os fatores C e P da agricultura revelam a existência de práticas conservacionistas do solo, que se deve à rotação com a cultura do milho, o cultivo em terraços e a adoção do plantio direto na região. As perdas de água e solo na bacia para o caso da agricultura convencional sem plantio direto são maiores, sem adoção de práticas conservacionistas,

---

<sup>21</sup> A ocupação é hipotética devido ao fato de alguns tipos de solo existentes na Bacia do Taquarizinho, tais como os Litólicos e Areias Quartzosas, não serem propícios à agricultura. Além disso, não foi considerado fato de que áreas de APP e RPPN's possam vir a reduzir o valor hipotético de 80% de ocupação na bacia por agricultura.

por isso o valor de calibração para P não pode ser mantido como  $P=0,2$ . O valor seria  $P=1$ , com ausência total de práticas conservacionistas, sendo mantido o fator de  $C=0,1415$ .

Com o intuito de avaliar o efeito da mudança de uso do solo no ciclo do carbono, o modelo hidro-carbono do Cenário 1 (predomínio agricultura) foi calibrado considerando um estoque de biomassa inicial médio de  $1,96 \text{ kg m}^{-2}$  (referente ao uso do solo de 80% agricultura e 20% vegetação nativa). Foi também considerado um valor de produção primária bruta de  $19,68 \text{ kgC ha}^{-1}\text{d}^{-1}$  baseado no valor médio observado em um polígono<sup>22</sup> de 7km por 7km de extensão com predomínio de agricultura na Bacia do Taquarizinho ao longo do período de 2006 a 2008 (ORNL DACC, 2010). Um ajuste importante ocorre no fluxo diário de deposição de liteira, que foi calculado baseado em Parron, Bustamante e Prado (2004), totalizando  $2,79 \text{ kg ha}^{-1}\text{d}^{-1}$ , totalizando  $J22=1,39 \text{ E5 kg C}$  para calibração<sup>23</sup>. O valor de calibração do fluxo de carbono devido à respiração no solo ( $J25$ ) foi baseado na equação de balanço de massa do carbono na Bacia do Taquarizinho, considerando o valor de troca líquida de carbono  $NCE=0 \text{ Mg C ha}^{-1}\text{ano}^{-1}$ . A retirada de carbono pela colheita variou 13 a 15 dias por ano, a fim de retirar todo o carbono acumulado ao longo do ano em área agrícola. Todos os valores de calibração estão na Tabela 33 do Anexo VII.

O valor de calibração para o runoff ( $J4$ ) foi de  $1,90 \text{ E5 m}^3$ , baseado no fator de perda de solo ( $24,48 \text{ ton ha}^{-1}\text{ano}^{-1}$ ) e no fator  $k_w$ . Os demais fluxos hidrológicos que compõem a etapa de calibração foram obtidos pela equação de balanço de massa, de maneira similar às simulações anteriores. Um ajuste importante feito para esse cenário foi no fluxo de evapotranspiração, que de acordo com uma média entre 2006-2008 para área de agricultura em um polígono de agricultura no Taquarizinho (ORNL DACC, 2010) foi de 1,95 mm por dia. Anteriormente, quando a quantidade de Biomassa (BU) do cenário preservado era de  $BU=3,49 \text{ E9 kg}$ , o fluxo de transpiração foi de 1,95 mm. Como no cenário 1  $BU=0,98 \text{ E9 kg}$ , a transpiração de calibração será considerada como  $0,55 \text{ mm d}^{-1}$  através de uma relação linear entre quantidade de biomassa e água transpirada. Nesse

---

<sup>22</sup> Polígono localizado na Bacia do Taquarizinho, com ocupação apenas por agricultura, dimensão de de 7 km x 7 km, e centro no ponto de Latitude: -19.132518, Longitude: -54.647712.

<sup>23</sup> Segundo Parron, Bustamante e Prado (2004), a deposição média diária de liteira em área de Cerrado é de 3,50 kgC/ha/dia. Esse valor foi considerado como o mesmo para áreas de pastagens. No caso da agricultura, o valor foi de  $J22$  foi assumido como 1 kgC/ha/dia, baseado no valor de biomassa depositada sobre o solo após a colheita. O cálculo do fluxo para o cenário foi baseado em uma média ponderada considerando o estoque de carbono na biomassa da bacia (72% de nativa e 28% de agricultura):  $0,72*3,50+0,28*1,00+0,00*3,50= 2,79 \text{ kgC/ha/dia}$ .

caso, o fluxo restante, ou seja, a evaporação pelo terreno, será de  $1,40 \text{ mm d}^{-1}$  na etapa de calibração. A pluviosidade considerada para os três anos de simulação foi aquela referente a 2006-2008 na Bacia do Taquarizinho (ANA, 2011).

## 6.2 Cenário 2: *predomínio pastagens*

O cenário 2 (predomínio de pastagens) se baseia em uma ocupação hipotética máxima de 80% da Bacia do Taquarizinho pelas pastagens. Esse cenário pretende avaliar a capacidade de alteração nos serviços ecossistêmicos do carbono e da água devido a ocupação pelas pastagens. Além disso, será realizado um exercício de simulação de duas condições diferentes: pastagens degradadas, onde todo o valor de produção primária bruta é colhida pelo gado, e de pastagem sob boa condição de manejo, onde foi assumido que apenas metade (50%) da biomassa bruta produzida diariamente será consumida pelo rebanho no fluxo J29.

Levando-se em conta a área da Bacia do Taquarizinho, de aproximadamente 49.851,44 hectares, será alocado um valor equivalente a 39.881,15 ha (80% da área da bacia) com pastagens no cenário 2. A área ocupada por agricultura será nula e, os 9.970,29 ha restantes (20% da área da bacia) serão ocupados por áreas de vegetação nativa. A alocação dos hectares de pastagens e mata nativa em relação às 66 partes da bacia (33 sub-bacias divididas em lado esquerdo e direito do canal principal) estão representados na Tabela 34 no Anexo VII. O critério de alocação foi baseado no uso e ocupação do solo do cenário 1, onde as áreas prévias com agricultura seriam convertidas em pastagens no futuro. As áreas de mata nativa do cenário 1 (baseadas no mapa de ocupação de 1996) foram mantidas no cenário 2.

Como é possível observar na Tabela 34 do Anexo VII, o cálculo da perda de solo média anual utilizando a Universal Soil Loss Equation (USLE) é de 9,86 toneladas por hectare. Esse cálculo foi realizado após modificar os fatores por  $C=0,011$  e  $P=1$  da equação para expressar a nova cobertura do solo nas sub-bacias ocupadas agora por pastagens. No caso das pastagens degradadas, o valor adotado foi de  $C=0,030$  e  $P=1$ , baseado em Donzelli et al. (1992), De Maria et al. (1994), Nascimento (1994), De Maria (1995) e IAC (1996), apud. Vásquez-Fernández (1996) para pasto degradado no Brasil. As áreas mantidas como mata nativa (20%) da bacia tiveram os fatores mantidos como  $C=0,003$  e  $P=1$ .

Com o intuito de avaliar o efeito da mudança de uso do solo no ciclo do carbono, o modelo hidro-carbono do Cenário 2 (predomínio pastagens) foi calibrado considerando um estoque de biomassa inicial médio de  $2,20 \text{ kg m}^{-2}$  (referente ao uso do solo de 80% pastagens e 20% vegetação nativa). Foi também considerado um valor de produção primária bruta de  $17,51 \text{ kgC ha}^{-1} \text{ d}^{-1}$  baseado no valor médio observado em um polígono<sup>24</sup> de 7km por 7km de extensão com predomínio de pastagens na Bacia do Taquarizinho ao longo do período de 2006-2008 (ORNL DACC, 2010). Um ajuste importante ocorre no fluxo diário de deposição de liteira, que foi calculado baseado em Parron, Bustamante e Prado (2004), totalizando  $3,50 \text{ kg ha}^{-1} \text{ d}^{-1}$ , totalizando  $J22=1,74 \text{ E5 kg C}$  para calibração<sup>25</sup>. O valor de calibração do fluxo de carbono devido à respiração no solo (J25) foi baseado na equação de balanço de massa do carbono na Bacia do Taquarizinho, considerando o valor de troca líquida de carbono  $\text{NCE}=0 \text{ Mg C ha}^{-1} \text{ ano}^{-1}$ . Os valores de calibração estão na Tabela 35. Descrição das informações de entradas, fluxos e estoques para calibração para cenário 2, predomínio de pastagens. Tabela 35 do Anexo VII.

O valor de calibração para o runoff (J4) foi de  $7,66 \text{ E4 m}^3$ , foi baseado no fator de perda de solo ( $9,86 \text{ ton ha}^{-1} \text{ ano}^{-1}$ ) e no fator  $k_w$ . Os demais fluxos hidrológicos que compõem a etapa de calibração foram obtidos pela equação de balanço de massa, de maneira similar às simulações anteriores. Um ajuste importante feito para esse cenário foi no fluxo de evapotranspiração, que de acordo com uma média entre 2006-2008 para área de agricultura em um polígono com predomínio de pastagens no Taquarizinho (ORNL DACC, 2010) foi de 1,95 mm por dia. Anteriormente, quando a quantidade de Biomassa (BU) do cenário preservado era de  $\text{BU}=3,49 \text{ E9 kg}$ , o fluxo de transpiração foi de 1,95 mm. Como no cenário 2 o  $\text{BU}=1,10 \text{ E9 kg}$ , a transpiração de calibração será considerada como  $0,62 \text{ mm d}^{-1}$  através de uma relação linear entre quantidade de biomassa e água transpirada. Nesse caso, o fluxo restante, ou seja, a evaporação pelo terreno, será de  $1,33 \text{ mm d}^{-1}$  para a etapa de calibração. A pluviosidade considerada para os três anos de simulação foi aquela referente a 2006-2008 na Bacia do Taquarizinho (ANA, 2011). É importante salientar que o valor de carbono perdido por colheita (J29) considerado no modelo variará em dois subcenários: um de subpastoreio onde metade da biomassa

---

<sup>24</sup> Polígono localizado na Bacia do Taquarizinho, com ocupação predominante de pastagens, dimensão de de 7 km x 7 km, e centro no ponto de Latitude: -19.032504, Longitude: -54.771137.

<sup>25</sup> Segundo Parron, Bustamante e Prado (2004), a deposição média diária de liteira em área de Cerrado é de 3,50 kgC/ha/dia. Esse valor foi considerado como o mesmo para áreas de pastagens. No caso da agricultura, o valor foi assumido como 1 kgC/ha/dia, baseado no valor de biomassa depositada sobre o solo após a colheita. O cálculo do fluxo para o cenário foi baseado em uma média ponderada considerando o estoque de carbono na biomassa da bacia (62% de nativa e 38% de pastagem):  $0,62*3,50+0,00*1,00+0,38*3,50= 3,50 \text{ kgC/ha/dia}$ .

produzida pela pastagem é consumida, e outra de sobrepastoreio, onde a biomassa produzida é consumida integralmente.

#### *6.4. Cenário 3: business as usual*

Os cenários 1 e 2 dizem respeito a uma condição futura na qual a Bacia do Taquarizinho está completamente dominada pela agricultura ou pelas pastagens. No entanto, não é possível ser preciso quanto ao ano em que tal situação venha a acontecer, caso ocorra. Torna-se necessário, portanto, construir um cenário cujo uso e ocupação do solo seja dirigido para um recorte temporal mais próximo e que represente a tendência de ocupação na bacia para as próximas décadas.

Baseando-se no principal estudo existente na região sobre a ocupação e uso do solo ao longo do tempo (PARANHOS FILHO, 2000), esta sessão será dedicada à criação de um cenário que esteja balizado em tendências passadas de ocupação do solo na Bacia. Portanto, assumir-se-á que as taxas médias de eliminação de áreas naturais que ocorreram no passado serão mantidas para um período de tempo igual no futuro.

Observando-se a Tabela 23, é possível observar que a mudança no uso do solo na Bacia do Taquarizinho não apresentou uma tendência linear ao longo das décadas. De acordo com o mapeamento da Embrapa CNPTIA (2011) utilizando as cartas de ocupação de Paranhos Filho (2000), a ocupação por mata nativa em 1966 era de 82%. Esse valor diminuiu para 34% em 1996 e aumentou para 42% em 2006, mostrando que não há um comportamento linear de ocupação na bacia. O mesmo ocorre para as áreas de pastagens e agricultura, que ora alternam períodos de aumento e períodos de redução de território. Com o intuito de estimar o comportamento médio de mudança no uso da terra na Bacia do Taquarizinho, foi construída a Tabela 23, que mostra a variação média anual entre os períodos de 1966-1996-2006. Observa-se que entre os períodos de 1966-1996 (30 anos) e 1966-2006 (40 anos), a tendência parece ser de aumento nas áreas de pastagens e agricultura em detrimento das áreas de mata nativa. No entanto, quando se observa o período de 1996-2006 (10 anos), o comportamento médio é de ganho em áreas nativas, devido à perda de áreas de pastagens.

Portanto, a fim de evitar uma visão enviesada a respeito da dinâmica de mudança de uso da terra nessa bacia, foi considerada uma taxa média de conversão anual de áreas da Bacia do Taquarizinho, baseando-se na média aritmética das médias anuais observadas em três períodos diferentes: 1966-1996, 1966-2006, e 1996-2006. O cálculo

da variação média anual para cada intervalo de tempo foi realizada pela diferença percentual de área dividida pela duração do intervalo de tempo. Por exemplo, a área de mata nativa caiu de 82% para 34% de 1966 para 1996. Essa diferença (82%-34%= 48%) foi dividida pelo intervalo de 30 anos, representando uma queda média de 1,6% ao ano.

Tabela 23. Tendências de mudança de uso da terra na bacia do Taquarizinho entre 1966-2006.

Uso solo	1966	1996	2006	Variação média anual (1966-1996) <sup>a</sup>	Variação média anual (1966-2006) <sup>b</sup>	Variação média anual (1996-2006) <sup>c</sup>	Média (% a.a) <sup>d</sup>
Mata nativa	82%	34%	42%	-1,6% a.a	-1% a.a.	+0,80% a.a.	-0,60%
Pastagens	16%	46%	38%	+1,0% a.a	+0,55% a.a.	-0,80% a.a	+0,25%
Agricultura	2%	20%	20%	+0,6% a.a	+0,45% a.a.	0% a.a.	+0,35%

<sup>a</sup>Considerando a perda ou ganho percentual de território ao longo de 30 anos.

<sup>b</sup>Considerando a perda ou ganho percentual de território ao longo de 40 anos.

<sup>c</sup>Considerando a perda ou ganho percentual de território ao longo de 10 anos.

<sup>d</sup>Média aritmética das taxas anuais dos três períodos.

Portanto, o cenário 3 ou *business as usual*, considera que há uma tendência líquida de perda de 0,60% da área de mata nativa por ano, devido à expansão anual das pastagens (0,25% a.a.) e da agricultura (0,35% a.a.).

Considerando o mapa de 2006, utilizar-se-ão essas taxas de mudança no uso da terra para extrapolar um cenário futuro, assumido como o ano 2026. Considerando que tal período é de 20 anos passados em relação a 2006, basta multiplicar o intervalo de tempo pela taxa média de conversão calculada na tabela anterior. Assim, para a mata nativa, considerando perda média de -0,6% a.a., isso significa uma perda de 12% ao longo de 20 anos; assim, a área decresceria de 42% em 2006 para 30% em 2026. Realizando cálculo análogo para as pastagens e agricultura, o incremento seria de 5% e 7%, respectivamente, com o passar de duas décadas.

Tabela 24. Ocupação percentual da bacia estimada para o ano 2026, do cenário 3.

Uso do solo	2006	2026	Média (% a.a) <sup>a</sup>
Mata nativa	42%	30%	-0,60%
Pastagens	38%	43%	+0,25%
Agricultura	20%	27%	+0,35%

<sup>a</sup>Média aritmética de conversão de uso e ocupação do solo calculada anteriormente para os períodos 1966-1996, 1966-2006, e 1996-2006 na bacia.

Levando-se em conta a área da Bacia do Taquarizinho, de aproximadamente 49.851,44 hectares, serão alocados no cenário 2 um valor equivalente a 14.955,43 ha (30% da área da bacia) com mata nativa. A área ocupada por agricultura será de 13.459,89 ha (27% da área da bacia) e, os 21.436,12 ha restantes (43%) serão ocupados por áreas de pastagens. A alocação dos hectares de pastagens e mata nativa em relação às 66 partes da bacia (33 sub-bacias divididas em lado esquerdo e direito do canal principal) estão representados na Tabela 36 do Anexo VII. O critério de alocação foi baseado no uso e ocupação do solo de 1996, que apresentava percentuais de ocupação bastante semelhante: 34% nativa, 46% pastagens e 20% de agricultura. Em relação a 1996, o cenário apresenta 7% a mais de agricultura, que foram alocados sobre as áreas de menor declividade com pastagens (que perdem 3% em relação a 1996) e mata nativa (que perdem 4% em relação a 1996).

Como é possível observar na Tabela 36, o cálculo da perda de solo média anual utilizando a Universal Soil Loss Equation (USLE) é de 10,57 toneladas por hectare. As áreas mantidas como mata nativa (30%) da bacia tiveram os fatores mantidos como  $C=0,003$  e  $P=1$ , e as com pastagens, como  $C=0,011$  e  $P=1$ . As áreas inseridas com agricultura tiveram seus índices da USLE mantidos como  $C=0,1415$  e  $P=0,2$ , que referem-se à produção de soja utilizando-se de práticas conservacionistas, tais como a construção de terraços para aumentar a infiltração de água que escoaria superficialmente sem a adoção de tais práticas.

Durante o exercício da simulação, assumiu-se que as áreas de agricultura foram metade ocupadas por agricultura convencional e metade por agricultura com a adoção de práticas conservacionistas. No caso das pastagens, assumir-se-á uma proporção igual, ou seja, metade das áreas em situação de degradação e a outra metade em boa situação de manejo, onde é permitida a recomposição do estoque de biomassa na pastagem.

Com o intuito de avaliar o efeito da mudança de uso do solo no ciclo do carbono, o modelo hidro-carbono do Cenário 3 (*business as usual*) foi calibrado considerando um estoque de biomassa inicial médio de  $2,72 \text{ kg m}^{-2}$  (referente ao uso do solo de 43% pastagens, 30% vegetação nativa e 27% agricultura). Foi também estimado um valor de produção primária bruta de  $19,74 \text{ kgC ha}^{-1}\text{d}^{-1}$  baseado na média ponderada<sup>26</sup> observada

---

<sup>26</sup> Média ponderada baseada nos valores de calibração de GPP de pastagens ( $17,51 \text{ kgC ha}^{-1}\text{d}^{-1}$ ), agricultura ( $19,68 \text{ kgC ha}^{-1}\text{d}^{-1}$ ), e mata nativa ( $23 \text{ kgC ha}^{-1}\text{d}^{-1}$ ) na Bacia do Taquarizinho em simulações anteriores. Cálculo considerando ponderação de acordo com percentual de ocupação do solo do cenário *business as usual*:  $GPP=(0,43*17,51)+(0,27*19,68)+(0,30*23,00)= 19,74 \text{ kg C ha}^{-1}\text{d}^{-1}$

em polígonos de 7km por 7km de extensão ocupados por pastagens, agricultura e mata nativa na Bacia do Taquarizinho ao longo do período de 2006-2008 (ORNL DACC, 2010). Um ajuste importante ocorre no fluxo diário de deposição de liteira, que foi calculado baseado em Parron, Bustamante e Prado (2004), totalizando  $3,33 \text{ kg ha}^{-1}\text{d}^{-1}$ , totalizando  $J22=1,66 \text{ E5 kg C}$  para calibração<sup>27</sup>. O valor de calibração do fluxo de carbono devido à respiração no solo (J25) foi baseado na equação de balanço de massa do carbono na Bacia do Taquarizinho, considerando o valor de troca líquida de carbono  $\text{NCE}=0 \text{ Mg C ha}^{-1}\text{ano}^{-1}$ .

O valor de calibração para o runoff (J4) foi de  $8,21 \text{ E4 m}^3$ , baseado no fator de perda de solo ( $10,57 \text{ ton ha}^{-1}\text{ano}^{-1}$ ) e no fator  $k_w$ . Os demais fluxos hidrológicos que compõem a etapa de calibração foram obtidos pela equação de balanço de massa, de maneira similar às simulações anteriores. No caso da evapotranspiração, o fluxo médio de  $1,99 \text{ mm}$  também foi calculado utilizando a média ponderada<sup>28</sup> dos fluxos observados em polígonos de 7km por 7km de extensão com cobertura composta por pastagens, agricultura e mata nativa na Bacia do Taquarizinho ao longo do período de 2006-2008 (ORNL DACC, 2010). Anteriormente, quando a quantidade de Biomassa (BU) do cenário preservado era de  $\text{BU}=3,49 \text{ E9 kg}$ , o fluxo de transpiração foi de  $1,95 \text{ mm}$ . Como nesse cenário  $\text{BU}=1,36 \text{ E9 kg}$ , a transpiração de calibração será considerada como  $0,76 \text{ mm d}^{-1}$  através de uma relação linear entre quantidade de biomassa e água transpirada. Nesse caso, o fluxo restante, ou seja, a evaporação pelo terreno, será de  $1,23 \text{ mm d}^{-1}$  na etapa de calibração. A pluviosidade considerada para os três anos de simulação foi aquela referente a 2006-2008 na Bacia do Taquarizinho (ANA, 2011). Todos os valores de calibração encontram-se na Tabela 37 do Anexo VII.

#### *6.4 Cenário 4: agricultura sustentável*

O presente cenário pretende incluir no exercício de simulação uma situação em que a bacia hidrográfica do Taquarizinho apresente uma visão diferente em relação ao comportamento dos produtores rurais no sentido de diminuir o nível de impacto das suas

<sup>27</sup> Segundo Parron, Bustamante e Prado (2004), a deposição média diária de liteira em área de Cerrado é de  $3,50 \text{ kgC/ha/dia}$ . Esse valor foi considerado como o mesmo para áreas de pastagens. No caso da agricultura, o valor foi assumido como  $1 \text{ kgC/ha/dia}$ , baseado no valor de biomassa depositada sobre o solo após a colheita. O cálculo do fluxo para o cenário foi baseado em uma média ponderada considerando o estoque de carbono na biomassa da bacia (77% de nativa, 7% agricultura e 16% de pastagem):  $0,77*3,50+0,07*1,00+0,16*3,50= 3,33 \text{ kgC/ha/dia}$ .

<sup>28</sup> Média ponderada baseada nos valores de calibração de ET de pastagens ( $1,95 \text{ mm.d}^{-1}$ ), agricultura ( $1,95 \text{ mm.d}^{-1}$ ), e mata nativa ( $2,07 \text{ mm.d}^{-1}$ ) na Bacia do Taquarizinho em simulações anteriores. Cálculo considerando ponderação de acordo percentual de ocupação do solo do cenário business as usual:  $\text{ET}=(0,43*1,95)+(0,27*1,95)+(0,30*2,07)= 1,99 \text{ mm.d}^{-1}$

atividades na produção de água e carbono na bacia. O cenário 4, ou agricultura sustentável, pretende avaliar o efeito da hipotética conversão das áreas de agricultura e pecuária observadas no ano de 2006 em áreas com sistemas agroflorestais.

Em geral, os sistemas agroflorestais (SAF's) têm como característica marcante a utilização de espécies arbóreas em associações com culturas agrícolas, combinando plantas de ciclo anual, plantas perenes, semiperenes de florestas e/ou criação animal simultaneamente ou em sequência temporal adequadas aos padrões culturais da população local (NAIR, 1989; VILAS BOAS, 1991; DUBOIS, 1996; CURRENT, LUTZ E SCHERR, 1995; apud. SANTOS, 2000). O objetivo dos SAF's é a recuperação de áreas degradadas, com potencial de gerar maiores produtividades agrícola, florestal e pecuária, e como mecanismo redutor de risco para o agricultor (VILAS BOAS, 1991; MONTAGNINE ET AL., 1992; apud SANTOS, 2000).

No caso do modelo hidro-carbono, a tentativa de simular sistemas agroflorestais na Bacia do Taquarizinho torna necessária a estimativa dos coeficientes de uso e ocupação do solo (C) e de práticas conservacionistas (P), visto que os mesmos são inexistentes na literatura. Na tentativa de traduzir toda a complexidade de um SAF, que muitas vezes apresenta de dezenas a centenas de espécies de vários portes em apenas um hectare, considerou-se que tais fatores dizem respeito a uma área coberta como se fora um sistema agrossilvipastoril com 1/3 por pastagens bem manejadas, 1/3 por mata nativa e 1/3 por culturas agrícolas manejadas sob práticas conservacionistas. Portanto, os fatores C e P para um SAF serão estimados assumindo-se que o efeito final do SAF em relação à perda do solo local equivale a uma situação híbrida dos coeficientes observados para áreas de pastagens, mata nativa e agricultura. Após essa simplificação, estimou-se<sup>29</sup>, através desta lógica simplificada, que os coeficientes para um SAF na região seria de  $C= 0,047$  e  $P= 0,2$ .

---

<sup>29</sup> Média ponderada baseada nos valores de C e P de pastagens, agricultura com práticas conservacionistas e mata nativa com porte arbóreo na Bacia do Taquarizinho segundo Bacchi (2003). No caso das pastagens, foi considerado  $P=0,2$  ao invés de  $P=1$  devido a sua integração com práticas conservacionistas no SAF, como cordões de vegetação nativa, que diminuem o potencial de erosão. Considerando que a área destinada a indivíduos arbóreos também façam parte do mesmo sistema onde está agricultura e pastagens, considerar-se-á o mesmo valor,  $P=0,2$ . Assumiu-se, portanto que o efeito final de um SAF na região em relação à perda de solo e de água por escoamento superficial assemelha-se a hibridização desses coeficientes de uso  $C=(0,1415 +0,011+0,003)/3= 0,047$  e práticas conservacionistas  $P=(0,2+0,2+0,2)/3=0,2$ .

Deve-se salientar que a lógica do cálculo acima é de fazer com que o valor do produto entre os fatores C e P de um SAF apresente um valor que seja maior que aquele de uma área de mata nativa, porém menor que dos sistemas de pastagem e agricultura já existentes na bacia. Em termos simplificados, a Bacia do Taquarizinho apresenta as seguintes classes de uso do solo, em ordem crescente do produto C.P:

- i) Mata Nativa: apresenta produto C.P= 0,003 (C=0,003, e P=1);
- ii) Pastagem convencional: apresenta produto C.P=0,011 (C=0,011 e P=1);
- iii) Agricultura conservacionista: produto C.P=0,028 (C=0,1415 e P=0,2).

Assim, a estimativa realizada nessa sessão apresenta coerência, pois o valor estimado para o sistema agroflorestral (SAF) seria de C.P=0,009 (C=0,047 e P=0,2)<sup>30</sup>, que significa menor potencial de perda de solo e *runoff* em relação aos sistemas de pastagem convencional e agricultura com prática conservacionista existentes na Bacia do Taquarizinho. Em relação à vegetação nativa, o SAF apresenta um valor superior de perda de solo e escoamento superficial, conforme esperado.

Dessa forma, o cenário 4, ou agricultura sustentável, apresentará o mapa de cobertura vegetal observada em 2006, no entanto, as sub-bacias ocupadas por pastagens e agricultura (70% da bacia) estariam convertidas em sistemas de produção agroflorestral (SAF's), e o restante (30%) cobertos por mata nativa, conforme mostra a Tabela 38 do Anexo VII.

Com o intuito de avaliar o efeito da mudança de uso do solo no ciclo do carbono, o modelo hidro-carbono do Cenário 4 (*agricultura sustentável*) foi calibrado considerando um estoque de biomassa inicial médio de 4,13 kg m<sup>-2</sup> (referente ao uso do solo de 70% SAF's, 30% vegetação nativa<sup>31</sup>). Foi também estimado um valor de produção primária bruta de 20,94 kgC ha<sup>-1</sup>d<sup>-1</sup>, baseado na média ponderada<sup>32</sup> observada em polígonos de 7km por 7km de extensão, com ocupação de pastagens, agricultura e mata nativa na

---

<sup>30</sup> Trata-se de uma estimativa de C.P que somente pode ser aplicada ao caso da região da Bacia do Taquarizinho, não sendo recomendada seu uso em outros estudos em regiões diferentes.

<sup>31</sup> O valor de biomassa por área em um SAF foi calculado considerando os valores já adotados no estudo para um terço de mata nativa, um terço de pastagens e um terço de agricultura, gerando um valor médio de 2,90 kg.m<sup>-2</sup>. Dessa forma, considerando 70% de SAF e 30% de vegetação nativa, o valor de biomassa médio na bacia é de  $0,7*(2,90)+0,3*(7,00)=4,13$  kg de biomassa por metro quadrado.

<sup>32</sup> Média ponderada baseada nos valores de calibração de GPP de pastagens (17,51 kgC ha<sup>-1</sup>d<sup>-1</sup>), agricultura (19,68 kgC ha<sup>-1</sup>d<sup>-1</sup>), e mata nativa (23 kgC ha<sup>-1</sup>d<sup>-1</sup>) na Bacia do Taquarizinho em simulações anteriores. Cálculo considerando ponderação de acordo percentual de ocupação do solo do cenário agricultura sustentável (70% SAF+ 30%nativa = 54% nativa+ 23% agricultura+ 23% pastagem) :  $GPP=(0,54*17,51)+(0,23*19,68)+(0,23*23,00)=20,94$  kgC ha<sup>-1</sup>d<sup>-1</sup>

Bacia do Taquarizinho ao longo do período de 2006-2008 (ORNL DACC, 2010). Um ajuste importante ocorre no fluxo diário de deposição de liteira, que foi calculado baseado em Parron, Bustamante e Prado (2004), totalizando  $3,40 \text{ kg ha}^{-1}\text{d}^{-1}$ , totalizando  $J22=1,70 \text{ E5 kg C}$  para calibração<sup>33</sup>. O valor de calibração do fluxo de carbono devido à respiração no solo (J25) foi baseado na equação de balanço de massa do carbono na Bacia do Taquarizinho, considerando o valor de troca líquida de carbono  $\text{NCE}=0 \text{ Mg C ha}^{-1}\text{ano}^{-1}$ . Os valores de calibração estão na Tabela 39 do Anexo VII.

O valor de calibração para o runoff (J4) foi de  $5,56 \text{ E4 m}^3$ , baseado no fator de perda de solo ( $7,16 \text{ ton ha}^{-1}\text{ano}^{-1}$ ). Os demais fluxos hidrológicos que compõe a etapa de calibração foram obtidos pela equação de balanço de massa, de maneira similar às simulações anteriores. No caso da evapotranspiração, o fluxo médio de  $2,01 \text{ mm}$  também foi calculado utilizando a média ponderada<sup>34</sup> dos fluxos observados em polígonos na bacia ao longo do período de 2006-2008 (ORNL DACC, 2010). Quando a quantidade de Biomassa (BU) do cenário preservado era de  $\text{BU}=3,49 \text{ E9 kg}$ , o fluxo de transpiração foi de  $1,95 \text{ mm}$ . Como nesse cenário  $\text{BU}=2,06 \text{ E9 kg}$ , a transpiração será considerada como  $1,15 \text{ mm d}^{-1}$  através de uma relação linear entre quantidade de biomassa e água transpirada. Nesse caso, o fluxo restante, ou seja, a evaporação pelo terreno, será de  $0,86 \text{ mm d}^{-1}$  na etapa de calibração.

Com o intuito de mostrar as principais diferenças entre os valores utilizados na calibração dos cenários, a Tabela 25 abaixo sintetiza as principais informações sobre os principais fluxos e estoques considerados.

---

<sup>33</sup> Segundo Parron, Bustamante e Prado (2004), a deposição média diária de liteira em área de Cerrado é de  $3,50 \text{ kgC/ha/dia}$ . Esse valor foi considerado como o mesmo para áreas de pastagens. No caso da agricultura, o valor foi assumido como  $1 \text{ kgC/ha/dia}$ , baseado no valor de biomassa depositada sobre o solo após a colheita. O cálculo do fluxo para o cenário foi baseado em uma média ponderada considerando o estoque de carbono na biomassa da bacia (90% de nativa, 4% agricultura e 6% de pastagem):  $0,90*3,50+0,04*1,00+0,06*3,50= 3,40 \text{ kgC/ha/dia}$ .

<sup>34</sup> Média ponderada baseada nos valores de calibração de ET de pastagens ( $1,95 \text{ mm.d}^{-1}$ ), agricultura ( $1,95 \text{ mm.d}^{-1}$ ), e mata nativa ( $2,07 \text{ mm.d}^{-1}$ ) na Bacia do Taquarizinho em simulações anteriores. Cálculo considerando ponderação de acordo percentual de ocupação do solo do cenário business as usual:  $\text{ET}=(0,54*1,95)+(0,23*1,95)+(0,23*2,07)= 2,01 \text{ mm.d}^{-1}$

Tabela 25. Síntese das informações de entradas, fluxos e estoques para a calibração dos cenários considerados no modelo.

Notas	Descrição	Unidade	Valores dos cenários					
			Agric. P.D.	Agric. Conv.	Pastagem c/ manejo	Pastagem s/ manejo	Business as usual	Agroflorestal
<i>Entradas</i>								
1	Precipitação	mm.ano <sup>-1</sup>	1396	<i>idem</i>	<i>idem</i>	<i>idem</i>	<i>idem</i>	<i>idem</i>
2	Luz solar	adimensional	1	<i>idem</i>	<i>idem</i>	<i>idem</i>	<i>idem</i>	<i>idem</i>
3	Escoamento de base	m <sup>3</sup> .d <sup>-1</sup>	3,97 E5	<i>idem</i>	<i>idem</i>	<i>idem</i>	<i>idem</i>	<i>idem</i>
4	Temperatura	°C	30,1	<i>idem</i>	<i>idem</i>	<i>idem</i>	<i>idem</i>	<i>idem</i>
5	Índice de área foliar	adimensional	1,25	<i>idem</i>	<i>idem</i>	<i>idem</i>	<i>idem</i>	<i>idem</i>
<i>Fluxos</i>								
6	Chuva precipitada	m <sup>3</sup> .d <sup>-1</sup>	1,91 E6	1,91 E6	1,91 E6	1,91 E6	1,91 E6	1,91 E6
7	Escoamento superficial	m <sup>3</sup> .d <sup>-1</sup>	1,90 E5	4,63 E5	7,66 E4	2,00 E5	8,21 E4	5,56 E4
8	Capilaridade vertical	m <sup>3</sup> .d <sup>-1</sup>	4,99 E3	4,99 E3	4,99 E3	4,99 E3	4,99 E3	4,99 E3
9	Infiltração no solo	m <sup>3</sup> .d <sup>-1</sup>	1,02 E6	7,46 E5	1,17 E6	1,04 E6	1,21 E6	1,42 E6
10	Evaporação no terreno	m <sup>3</sup> .d <sup>-1</sup>	6,98 E5	6,98 E5	6,63 E5	6,63 E5	6,13 E5	4,29 E5
11	Evaporação no canal	m <sup>3</sup> .d <sup>-1</sup>	1,13 E4	1,13 E4	1,13 E4	1,13 E4	1,13 E4	1,13 E4
12	Capilaridade vertical	m <sup>3</sup> .d <sup>-1</sup>	4,99 E3	4,99 E3	4,99 E3	4,99 E3	4,99 E3	4,99 E3
13	Insolação no terreno	adimensional	0,65	0,65	0,65	0,65	0,65	0,65
14	Percolação para SA	m <sup>3</sup> .d <sup>-1</sup>	7,45 E5	4,72 E5	8,58 E5	7,35 E5	8,33 E5	8,49 E5
15	Produção biomassa	kg.d <sup>-1</sup>	9,71 E5	9,71 E5	8,73 E5	8,73 E5	1,97 E6	2,09 E6
16	Transpiração	m <sup>3</sup> .d <sup>-1</sup>	2,74 E5	2,74 E5	3,09 E5	3,09 E5	3,79 E5	5,73 E5
17	Perda de biomassa	kg.d <sup>-1</sup>	5,03 E5	5,03 E5	4,75 E5	4,75 E5	1,55 E6	1,68 E6
18	Saída para SA	m <sup>3</sup> .d <sup>-1</sup>	7,33 E5	4,60 E5	8,47 E5	7,23 E5	8,22 E5	8,38 E5
19	Troca aquífero/canal	m <sup>3</sup> .d <sup>-1</sup>	4,99 E3	4,99 E3	4,99 E3	4,99 E3	4,99 E3	4,99 E3
20	Descarga linear	m <sup>3</sup> .d <sup>-1</sup>	2,94 E5	4,30 E5	2,37 E5	2,99 E5	2,40 E5	2,27 E5
21	Descarga quadrática	m <sup>3</sup> .d <sup>-1</sup>	2,94 E5	4,30 E5	2,37 E5	2,99 E5	2,40 E5	2,27 E5

Tabela 25. Cont. Síntese das informações de entradas, fluxos e estoques para a calibração dos cenários considerados no modelo.

	<i>Descrição</i>	<i>Unidade</i>	<i>Cenários</i>					
			<i>Agric. P.D.</i>	<i>Agric. Conv</i>	<i>Pastagens c/ manejo</i>	<i>Pastagens s/ manejo</i>	<i>Business as usual</i>	<i>Agroflorestal</i>
22	Fotossíntese (GPP)	kg C d <sup>-1</sup>	4,86 E5	4,86 E5	4,36 E5	4,36 E5	9,84 E5	1,04 E6
23	Respiração Autótrofa	kg C d <sup>-1</sup>	1,12 E5	1,12 E5	6,30 E4	6,30 E4	6,11 E5	6,71 E5
24	Produção de LDC	kg C d <sup>-1</sup>	1,39 E5	1,39 E5	1,74 E5	1,74 E5	1,66 E5	1,70 E5
25	Carbono LDC p/ solo	kg C d <sup>-1</sup>	9,74 E4	9,74 E5	1,22 E5	1,22 E5	1,16 E5	1,19 E5
26	Respiração LDC	kg C d <sup>-1</sup>	4,17 E4	4,17 E5	5,23 E4	5,23 E4	4,98 E4	5,09 E4
27	Respiração do solo	kg C d <sup>-1</sup>	2,16 E5	1,88 E5	1,92 E5	1,79 E5	1,99 E5	1,99 E5
28	Oxidação metano	kg C d <sup>-1</sup>	4,78 E2	4,78 E2	4,78 E2	4,78 E2	4,78 E2	4,78 E2
29	Runoff carbono	kg C d <sup>-1</sup>	1,92 E4	4,67 E4	7,77 E3	2,04 E4	8,84 E3	5,65 E3
<i>Estoques</i>								
30	Biomassa terrestre	kg	9,77 E8	9,77 E8	1,10 E9	1,10 E9	1,36 E9	2,06 E9
	por m <sup>2</sup>	kg.m <sup>-2</sup>	1,96	1,96	2,20	2,20	2,72	4,13
	Carbono na biomassa	kg C	4,89 E8	4,89 E8	5,48 E8	5,48 E8	6,78 E8	1,03 E9
	aéreo	kg C	2,79 E8	2,79 E8	3,43 E8	3,43 E8	3,66 E8	4,73 E8
	subterrânea	kg C	2,10 E8	2,10 E8	2,05 E8	2,05 E8	3,11 E8	5,57 E8
31	Carbono no solo	kg C	4,99 E9	4,99 E9	4,99 E9	4,99 E9	4,99 E9	4,99 E9
32	Carbono na liteira	kg C	3,74 E5	3,74 E5	3,74 E5	3,74 E5	3,74 E5	3,74 E5
	Liteira acima solo	kg C	1,50 E5	1,50 E5	1,50 E5	1,50 E5	1,50 E5	1,50 E5
	Detrito subterrâneo	kg C	2,24 E5	2,24 E5	2,24 E5	2,24 E5	2,24 E5	2,24 E5
33	Estoque superficial	m <sup>3</sup>	5,72 E6	5,72 E6	5,72 E6	5,72 E6	5,72 E6	5,72 E6
	profundidade média	mm	11,48	11,48	11,48	11,48	11,48	11,48
34	Umidade do solo	m <sup>3</sup>	6,48 E7	6,48 E7	6,48 E7	6,48 E7	6,48 E7	6,48 E7
	profundidade média	mm	130	130	130	130	130	130

Tabela 25. Cont. Síntese das informações de entradas, fluxos e estoques para a calibração dos cenários considerados no modelo.

<b>Nota</b>	<b>Descrição</b>	<b>Unidade</b>	<b>Cenários</b>			
			<b>Agricultura (P.D. e Conv)</b>	<b>Pastagem (c/ e s/ manejo)</b>	<b>Business as usual</b>	<b>Agroflorestal</b>
<i>Estoques</i>						
35	Volume do lençol	m <sup>3</sup>	1,50 E8	1,50 E8	1,50 E8	1,50 E8
	profundidade média	m	2	2	2	2
	porosidade média	%	15	15	15	15
36	Água dos canais	m <sup>3</sup>	1,02 E6	1,02 E6	1,02 E6	1,02 E6
	Comprimento total	m	249.673	249.673	249.673	249.673
	Profundidade	m	0,45	0,45	0,45	0,45
	Largura	m	9,05	9,05	9,05	9,05
37	Área da bacia	m <sup>2</sup>	498.514.329	498.514.329	498.514.329	498.514.329
	Mata nativa	m <sup>2</sup>	99.702.865	99.702.865	149.554.298	269.197.739
	Agricultura	m <sup>2</sup>	398.811.464	0	134.598.868	114.658.295
	Pastagens	m <sup>2</sup>	0	398.811.464	214.361.163	114.658.295

## 6.5 Resultados da simulação de cenários

### 6.5.1 Serviços hidrológicos

Nesta sessão do trabalho serão mostrados os resultados da utilização do modelo hidrocarbono calibrado considerando diferentes cenários de ocupação no futuro (2026), indicando seus respectivos potenciais de geração de serviços hidrológicos e do carbono na bacia do Taquarizinho, baseando-se nos dados de pluviosidade do período 2006-2008. Em relação ao procedimento de valoração, foi considerado um valor fixado para água de EM\$ 0,010 m<sup>-3</sup>; no caso do carbono, o valor foi de EM\$ 47,12 tC<sup>-1</sup> em todos os cenários.

Considerando primeiramente os serviços hidrológicos, observa-se no gráfico a seguir as diferenças em relação ao fluxo de evapotranspiração dado os diferentes cenários rodados no modelo hidro-carbono visando uma ocupação futura em 2026. Apesar das linhas serem quase coincidentes nos picos, observa-se nos vales que o cenário relativo ao predomínio de sistema agroflorestal (SAF) foi aquele que apresentou o maior fluxo de evapotranspiração, seguido da ocupação *business as usual*, pastagem com manejo, agricultura com plantio direto, pastagem sem manejo e agricultura convencional. Esses últimos cenários, com menores fluxos de evapotranspiração eram esperados na modelagem, pois, quanto menor o porte e a quantidade de biomassa viva na bacia, como o caso do sistema de agricultura convencional, menor a transpiração e a evapotranspiração da área. É importante observar que durante os períodos de chuvas, existem picos de evapotranspiração para cenários como agricultura convencional, pastagem sem manejo e agricultura de plantio direto. No entanto, passado o período de chuva e com a chegada da estiagem, os fluxos de evapotranspiração são superiores nos cenários cuja vegetação nativa é predominante, tais como os sistema agroflorestal e *business as usual*. Os valores relativos a evapotranspiração total ao longo do período simulado estão apresentados na Tabela 26.

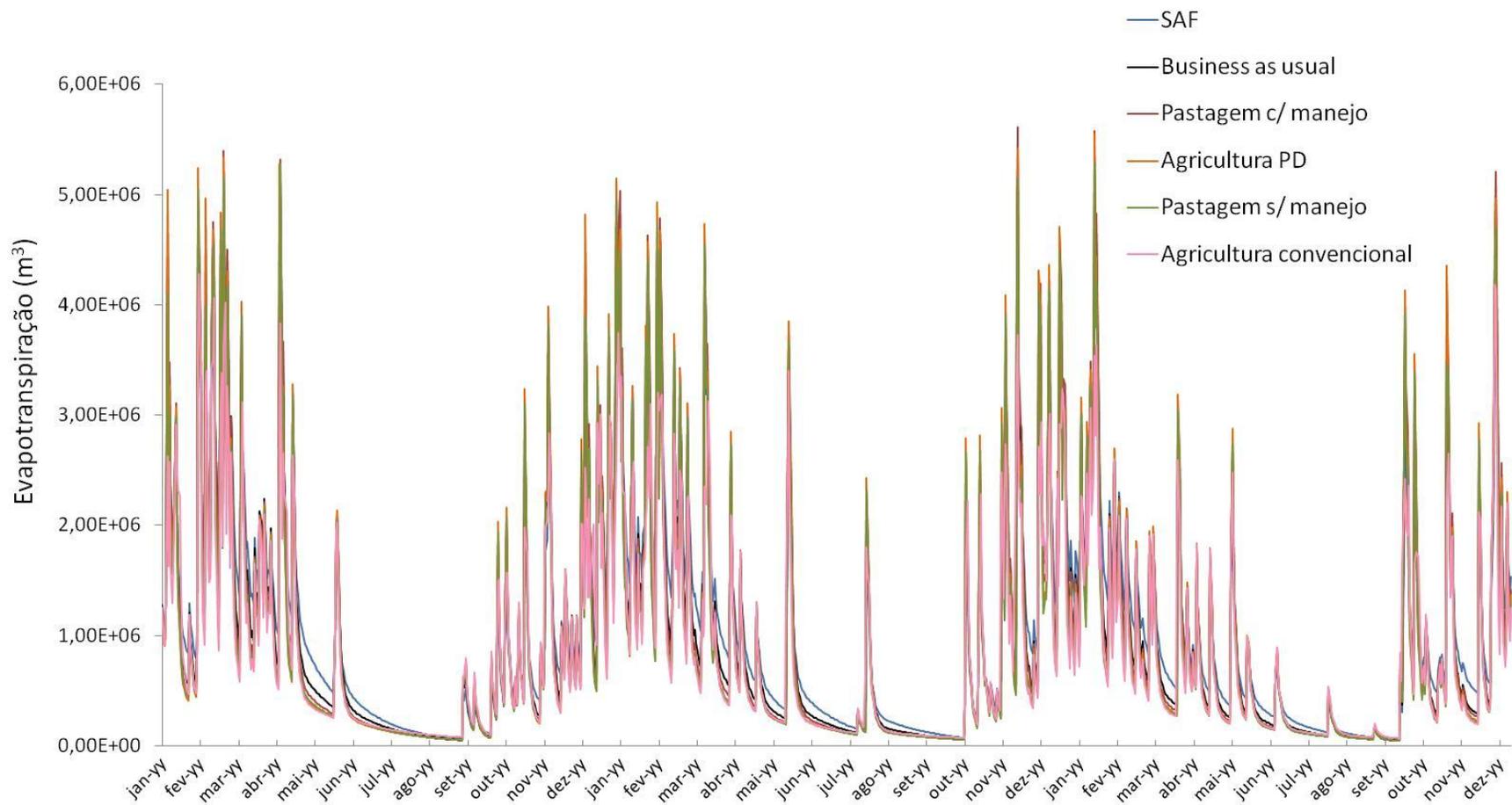


Gráfico 63. Fluxos de evapotranspiração simulados ao longo de três anos, considerando seis cenários diferentes para o ano de 2026: predomínio de sistema agroflorestal (SAF), pastagens com manejo, condição business as usual, agricultura com plantio direto, pastagens sem manejo e agricultura convencional.

Os valores monetários associados ao serviço de evapotranspiração de cenários futuros na Bacia do Taquarizinho estão mostrados no Gráfico 64, a seguir. Para o cenário agroflorestal (SAF), o valor médio desse serviço ao longo de três anos de simulação seria de EM\$ 75,87 ha<sup>-1</sup>ano<sup>-1</sup> devido ao fluxo médio de 7,59 E3 m<sup>3</sup>ha<sup>-1</sup>ano<sup>-1</sup>. No caso dos cenários de *business as usual*, pastagens com manejo e agricultura com plantio direto as provisões desse mesmo serviço seriam menores, de EM\$ 72,82, EM\$ 72,00 e EM\$ 67,62 ha<sup>-1</sup>ano<sup>-1</sup>, respectivamente, devido aos fluxos médios de evapotranspiração de 7,28 E3, 7,20 E3 e 6,76 E3 m<sup>3</sup>ha<sup>-1</sup>ano<sup>-1</sup>.

Os cenários com predomínio de pastagem sem manejo e de agricultura convencional fornecem os menores valores médio de evapotranspiração: 6,51 E3 e 6,25 E3 m<sup>3</sup>ha<sup>-1</sup>ano<sup>-1</sup>, realizando serviços médios de EM\$ 65,14 e EM\$ 62,52 ha<sup>-1</sup>ano<sup>-1</sup>.

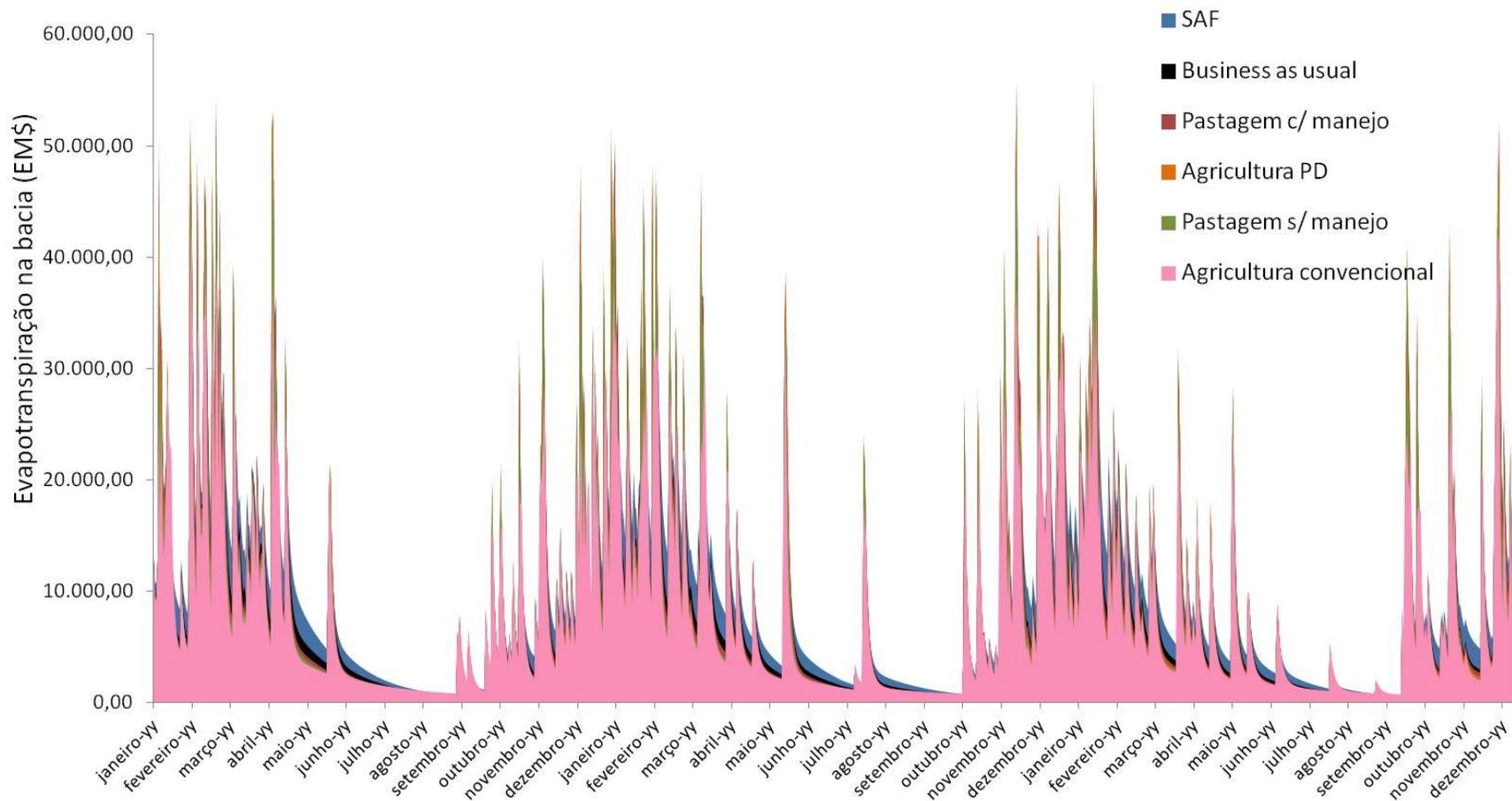


Gráfico 64. Fluxos monetários de evapotranspiração simulados ao longo de três anos, considerando seis cenários diferentes para o ano de 2026: predomínio de sistema agroflorestal (SAF), pastagens com manejo, condição business as usual, agricultura com plantio direto, pastagens sem manejo e agricultura convencional.

Em relação à descarga pelo canal, o cenário de predomínio por agricultura convencional gerou o maior valor médio ( $7,03 \text{ E}3 \text{ m}^3\text{ha}^{-1}\text{ano}^{-1}$ ), seguido dos cenários pastagens sem manejo ( $5,10 \text{ E}3 \text{ m}^3\text{ha}^{-1}\text{ano}^{-1}$ ), agricultura com plantio direto ( $4,91 \text{ E}3 \text{ m}^3\text{ha}^{-1}\text{ano}^{-1}$ ), business as usual ( $3,63 \text{ E}3 \text{ m}^3\text{ha}^{-1}\text{ano}^{-1}$ ), pastagem com manejo ( $3,53 \text{ E}3 \text{ m}^3\text{ha}^{-1}\text{ano}^{-1}$ ), e sistema agroflorestal ( $3,25 \text{ E}3 \text{ m}^3\text{ha}^{-1}\text{ano}^{-1}$ ). Tal resultado era esperado porque o predomínio de agricultura convencional, sem práticas conservacionistas do solo, gera um valor de escoamento superficial maior quando comparado aos outros cenários, produzindo, portanto, maiores picos de descarga superficial durante um mesmo evento diário de chuva. É notável no Gráfico 65 as diferenças de magnitude entre as linhas de cada cenário para um mesmo evento de descarga superficial diária. Por outro lado, o cenário com sistema agroflorestal apresentou valores de descarga mais regulados ao longo do período simulado, dada a proximidade do sistema com uma área de mata nativa em relação ao porte da vegetação.

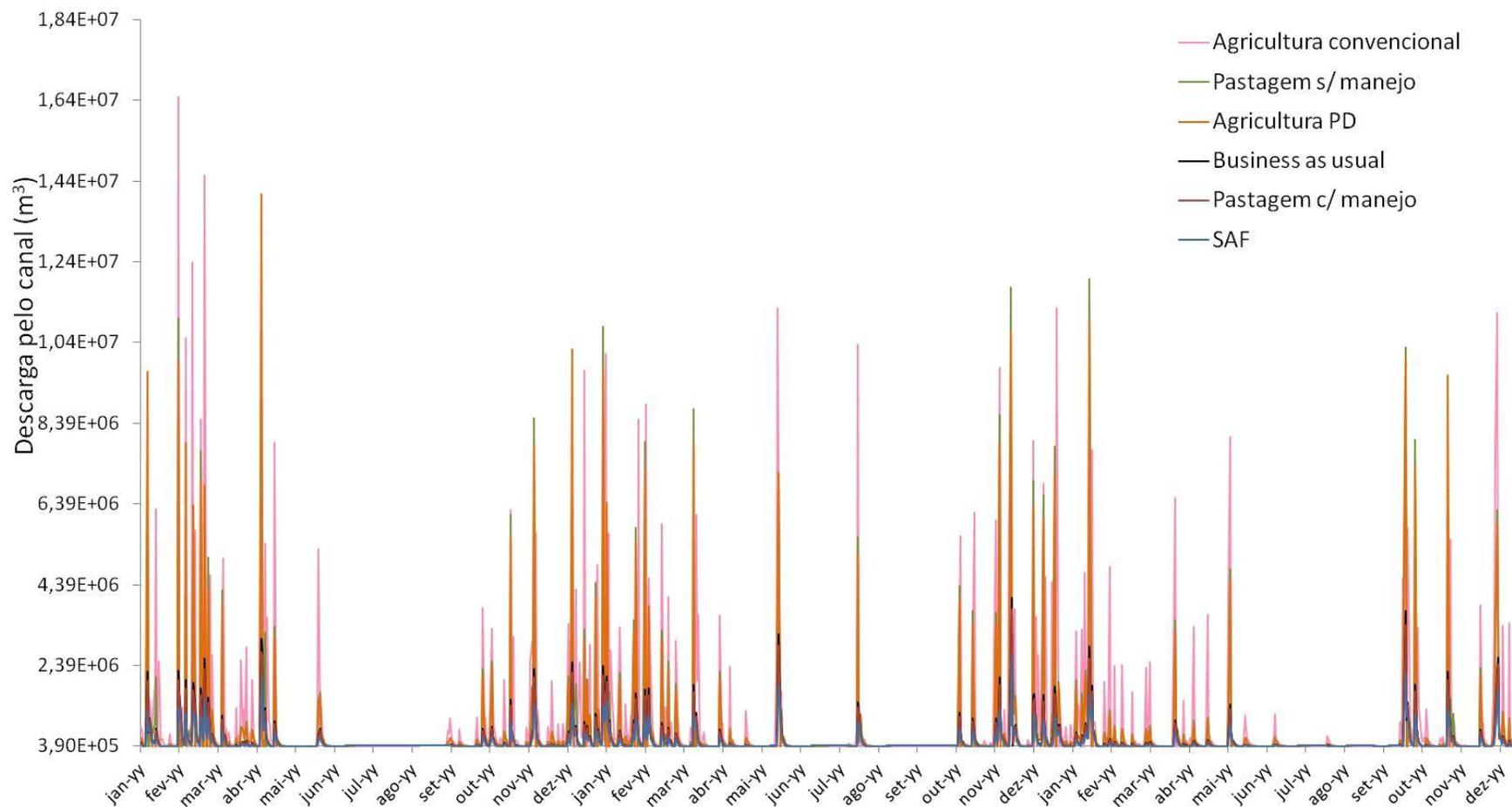


Gráfico 65. Fluxos de água pelo canal principal simulados ao longo de três anos, considerando seis cenários diferentes para o ano de 2026: predomínio de sistema agroflorestal (SAF), pastagens com manejo, condição business as usual, agricultura com plantio direto, pastagens sem manejo e agricultura convencional.

O valor médio do fluxo de descarga de canal para o cenário de agricultura convencional produziu os maiores eventos de descarga superficial simulados, com média de  $7,03 \text{ E3 m}^3 \cdot \text{ha}^{-1} \cdot \text{ano}^{-1}$ , no entanto o valor do serviço de descarga foi o menor dentre os seis cenários, atingindo um valor negativo:  $\text{EM\$ } -25,65 \text{ ha}^{-1} \cdot \text{ano}^{-1}$ , devido à série de eventos diários em que a vazão pelo rio ultrapassou o valor máximo de Tennant, caracterizando desserviços ecossistêmicos, como mostram os valores negativos do gráfico abaixo, onde valores excessivos de descarga caracterizam desserviços ecossistêmicos que podem chegar a  $\text{EM\$ } -150.000,00$  em apenas um dia, para toda a bacia. Percebe-se que a magnitude dos eventos de descarga superficial de água para a agricultura convencional encobrem as curvas dos demais cenários, devido à maior magnitude de fluxos positivos e, principalmente, de fluxos negativos.

Os demais cenários apresentaram serviços de descarga com saldo positivo. O cenário que apresentou maior valor médio de descarga pelo canal ao longo dos três anos de simulação foi o SAF ( $\text{EM\$ } 23,98 \text{ ha}^{-1} \cdot \text{ano}^{-1}$ ), seguido dos cenários pastagem com manejo ( $\text{EM\$ } 20,70 \text{ ha}^{-1} \cdot \text{ano}^{-1}$ ), *business as usual* ( $\text{EM\$ } 19,35 \text{ ha}^{-1} \cdot \text{ano}^{-1}$ ), agricultura de plantio direto ( $\text{EM\$ } 4,33 \text{ ha}^{-1} \cdot \text{ano}^{-1}$ ), e pastagem sem manejo ( $\text{EM\$ } 2,46 \text{ ha}^{-1} \cdot \text{ano}^{-1}$ ).

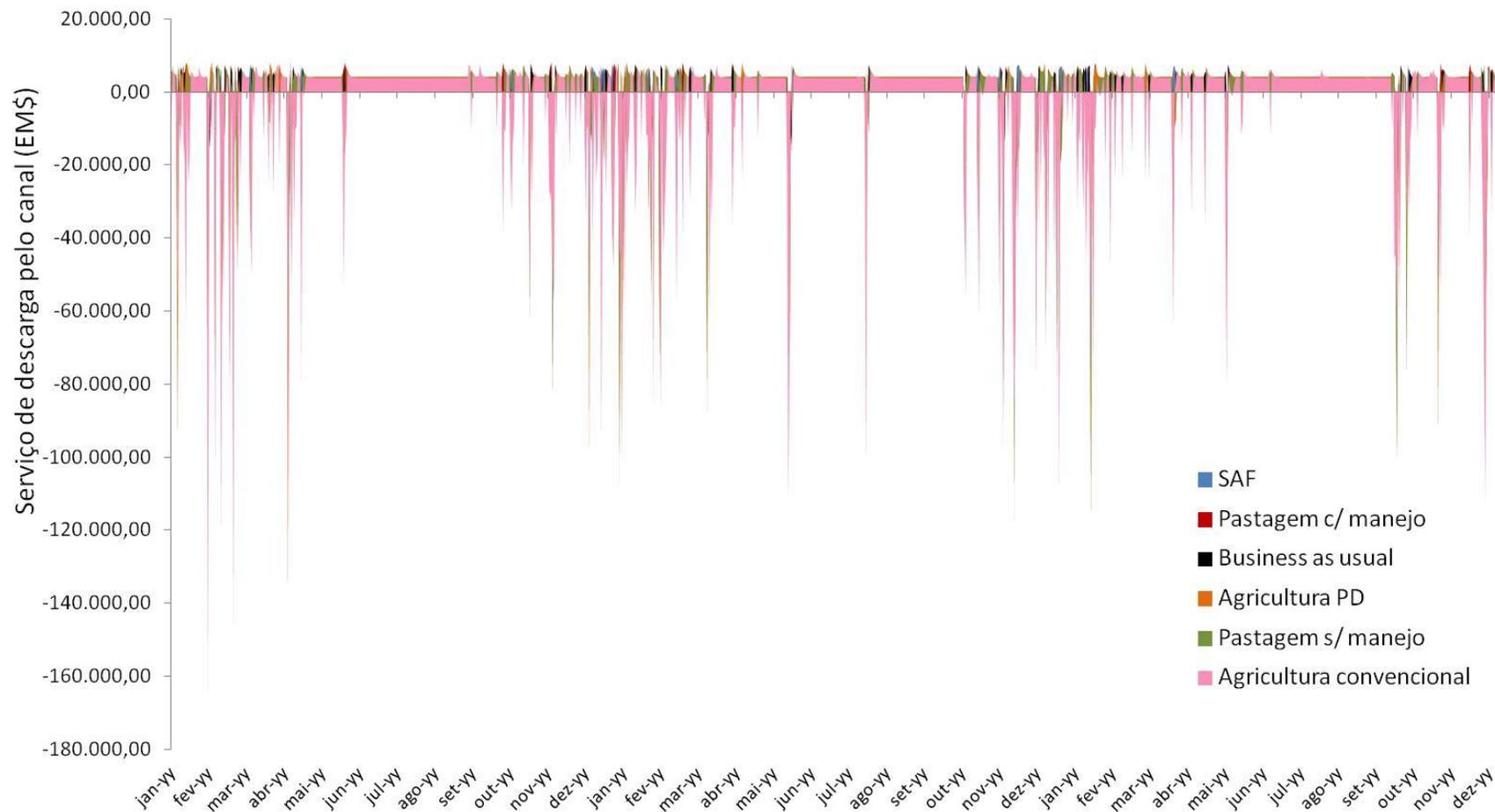


Gráfico 66. Valores em Emdólares (EM\$) da descarga simulada ao longo de três anos, considerando seis cenários diferentes para o ano de 2026: predomínio de sistema agroflorestal (SAF), pastagens com manejo, condição business as usual, agricultura com plantio direto, pastagens sem manejo e agricultura convencional.

Em relação à recarga de aquífero, as curvas do gráfico a seguir mostram que o cenário de agricultura convencional apresenta o menor fluxo médio anual ( $2,77 \text{ E3 m}^3 \text{ ha}^{-1} \text{ ano}^{-1}$ ), devido à menor taxa de percolação da água e ao maior escoamento superficial para um mesmo evento de chuva, quando comparados aos outros cenários. Por outro lado, os sistemas de pastagem com manejo e SAF apresentaram as maiores taxas de recarga de água subterrânea ao longo dos três anos simulados:  $5,22 \text{ E3}$  e  $5,33 \text{ E3 m}^3 \text{ ha}^{-1} \text{ ano}^{-1}$ , respectivamente. A discreta vantagem do cenário com predomínio de pastagens com manejo ocorre porque, apesar da água perdida por *runoff* ser maior em relação ao cenário SAF, as perdas de água por evapotranspiração são menores nas pastagens devido a vegetação de menor porte, fazendo com que mais água esteja disponível para percolação. No entanto, como será mostrado a seguir, esta vantagem não é suficiente para a obtenção de uma melhor performance hídrica geral, quando comparado ao cenário SAF.

Em seguida, em ordem decrescente de volume de água para recarga de água subterrânea são os cenários *business as usual* ( $5,14 \text{ E3 m}^3 \text{ ha}^{-1} \text{ ano}^{-1}$ ), pastagens sem manejo ( $4,44 \text{ E3 m}^3 \text{ ha}^{-1} \text{ ano}^{-1}$ ), agricultura com plantio direto ( $4,39 \text{ E3 m}^3 \text{ ha}^{-1} \text{ ano}^{-1}$ ), e agricultura convencional ( $2,77 \text{ E3 m}^3 \text{ ha}^{-1} \text{ ano}^{-1}$ ).

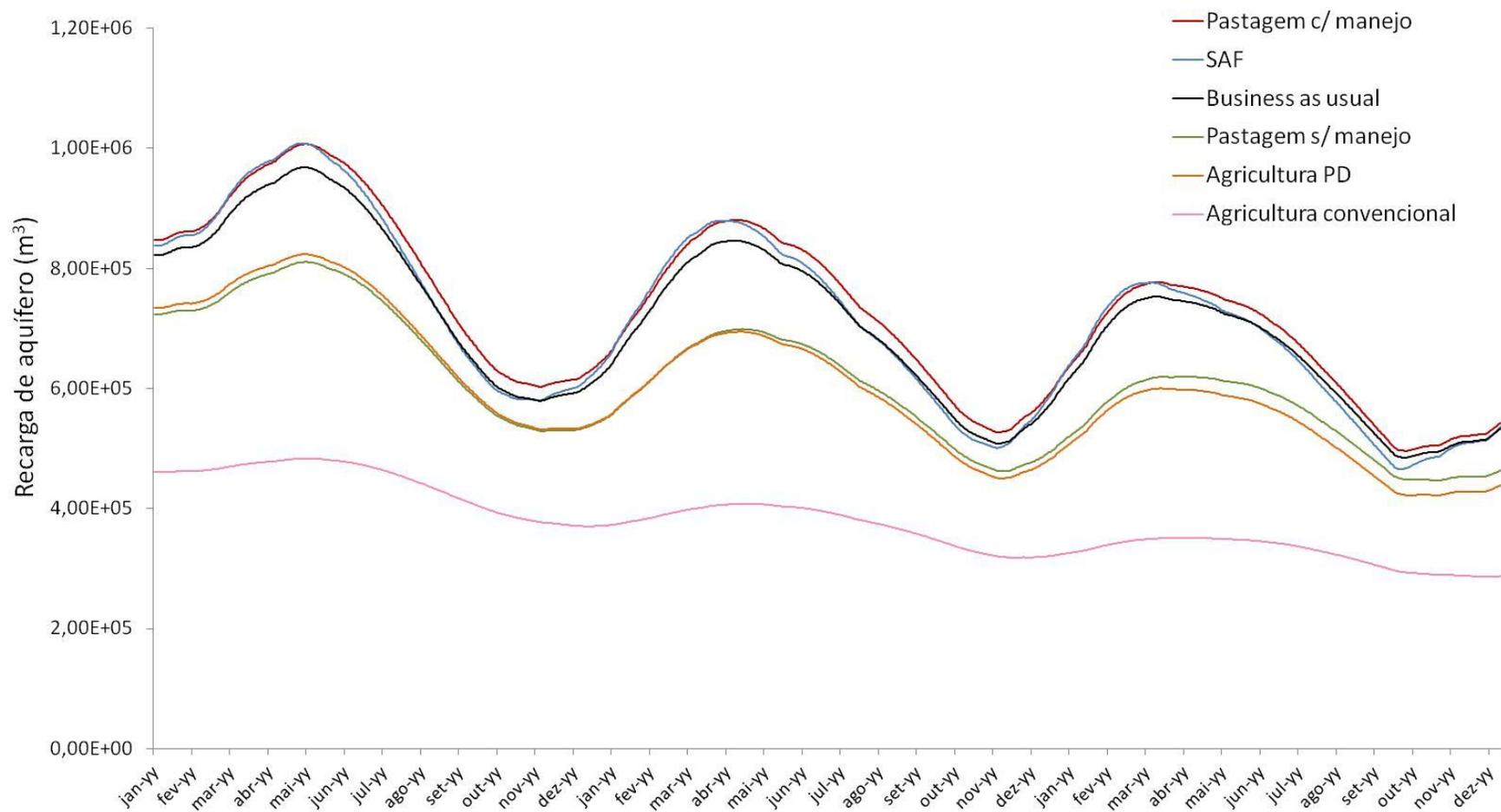


Gráfico 67. Fluxos de recarga de água subterrânea simulados ao longo de três anos, considerando seis cenários diferentes para o ano de 2026: predomínio de sistema agroflorestral (SAF), pastagens com manejo, condição business as usual, agricultura com plantio direto, pastagens sem manejo, e agricultura convencional.

Realizando a conversão dos fluxos de recarga de água subterrânea para fluxos monetários através do fator de conversão de energia para unidades monetárias equivalentes, obteve-se a mesma ordem do gráfico anterior. Ou seja, os cenários associados aos maiores valores monetários de recarga foram, em ordem decrescente, os seguintes: pastagem com manejo, SAF, business as usual, pastagem sem manejo, agricultura com plantio direto e agricultura convencional.

Nesse caso, o valor médio de recarga ao longo de três anos foi de EM\$ 53,28 ha<sup>-1</sup>ano<sup>-1</sup> para o caso do sistema de pastagens com manejo, que apresentou um valor pouco superior ao cenário de agrofloresta (SAF), cujo serviço médio foi de EM\$ 52,16 ha<sup>-1</sup>ano<sup>-1</sup>. Em seguida, observou-se que a condição *business as usual* apresentou uma performance bastante próxima, como provedora de EM\$ 51,39 ha<sup>-1</sup>ano<sup>-1</sup>. O cenário de pastagens sem manejo gerou um valor médio de recarga um pouco inferior, cerca de EM\$ 44,39 ha<sup>-1</sup>ano<sup>-1</sup> seguido do valor de agricultura com plantio direto, onde o valor de recarga de água subterrânea apresentou um serviço médio de EM\$ 43,87 ha<sup>-1</sup>ano<sup>-1</sup>. Novamente, o cenário de agricultura convencional apresentou o menor valor de recarga, cerca de EM\$ 27,73 ha<sup>-1</sup>ano<sup>-1</sup>, fato que era esperado já que o modelo prevê uma maior geração de água superficial através da ocupação por agricultura convencional, se comparado aos outros cinco cenários.

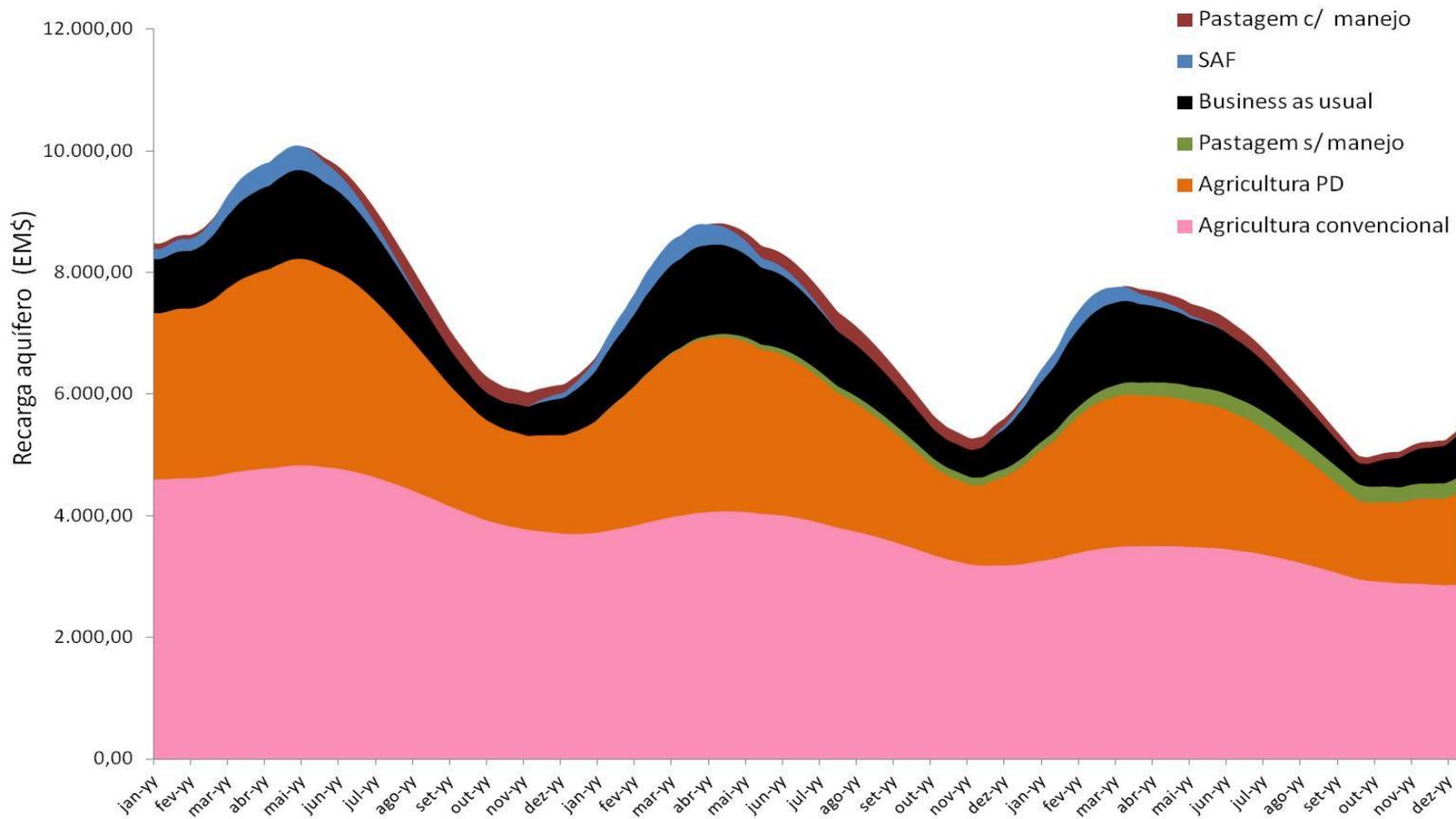


Gráfico 68. Valores em Emdólares (EM\$) da recarga simulada ao longo de três anos, considerando seis cenários diferentes para o ano de 2026: predomínio de sistema agroflorestal (SAF), pastagens com manejo, condição business as usual, agricultura com plantio direto, pastagens sem manejo, e agricultura convencional.

A Tabela 26 e a Tabela 27 sintetizam os valores de fluxos mássicos e monetários de serviços hidrológicos para os seis cenários rodados no modelo hidro-carbono durante o período de três anos, sob condições de pluviosidade observadas no período de 2006-2008 na Bacia do Taquarizinho. Observa-se que o balanço de massa de água da Tabela 26 é o mesmo para todos os cenários. Ou seja, dada uma mesma entrada de água por pluviosidade e por fluxo de base em todos os cenários, o somatório dos fluxos de evapotranspiração, descarga pelo canal e recarga é o mesmo para todas as situações, diferindo apenas a distribuição dessa água entre os três tipos de fluxos hídricos.

No entanto, observando a Tabela 27, nota-se que o valor monetário total gerado em cada cenário não é o mesmo. Isso ocorre basicamente devido às perdas de Emdólares (EM\$) devido aos desserviços de descarga de água pelo canal principal, que se deve ao fato de os picos de vazão estarem acima do valor máximo de Tennant, ocasionando, portanto, desserviços ecossistêmicos. Como se pode observar na Tabela 27, o cenário SAF gerou um serviço total de EM\$ 22.732.330,15 ao longo dos três anos, equivalente a uma taxa média de EM\$ 152 ha<sup>-1</sup>ano<sup>-1</sup>. No entanto, os demais cenários apresentaram valores médios anuais inferiores. Isso significa dizer que, ainda que seja mantido o mesmo fluxo mássico anual no somatório de saídas de água pelo ecossistema, o valor anual dos serviços hidrológicos somados não serão os mesmos devido à possibilidade de serem interpretados como sendo serviços ou desserviços.

O valor total da soma dos serviços hidrológicos prestados pelo cenário de pastagem com manejo foi de EM\$ 21.831.394,30 ao longo dos três anos de simulação na Bacia do Taquarizinho, que pode ser aproximado para uma média de EM\$ 145,98. Em seguida, os cenários *business as usual*, agricultura de plantio direto, pastagem sem manejo, e agricultura convencional, cujos valores totais simulados foram de EM\$ 21.470.615,86, EM\$ 17.320.470,08, EM\$ 16.748.923,01 e EM\$ 9.660.937,94, respectivamente; em termos de valor monetário por área por ano, tais valores são equivalentes a EM\$ 143,56 ha<sup>-1</sup>ano<sup>-1</sup>, EM\$ 115,81 ha<sup>-1</sup>ano<sup>-1</sup>, EM\$ 111,99 ha<sup>-1</sup>ano<sup>-1</sup>, e EM\$ 64,60 ha<sup>-1</sup>ano<sup>-1</sup>, respectivamente.

Tabela 26. Fluxos de água ao longo de três anos de simulação para os cenários de ocupação da bacia do Taquarizinho no ano 2026.

	<b>Agroflorestal (SAF)</b>	<b>Pastagem com manejo</b>	<b>Business as usual</b>	<b>Agricultura Plantio direto</b>	<b>Pastagem sem manejo</b>	<b>Agricultura convencional</b>
Evapotranspiração (m <sup>3</sup> )	1,18E+09	1,13E+09	1,08E+09	1,09E+09	1,01E+09	9,74E+08
Evapotranspiração (m <sup>3</sup> /ha/ano)	7,86E+03	7,59E+03	7,20E+03	7,28E+03	6,76E+03	6,51E+03
<i>Evapotranspiração relativa ao SAF (%)</i>	<i>100%</i>	<i>96%</i>	<i>92%</i>	<i>93%</i>	<i>86%</i>	<i>83%</i>
Descarga Canal (m <sup>3</sup> )	4,19E+08	4,87E+08	5,28E+08	5,44E+08	7,34E+08	7,63E+08
Descarga Canal (m <sup>3</sup> /ha/ano)	2,80E+03	3,25E+03	3,53E+03	3,63E+03	4,91E+03	5,10E+03
<i>Descarga Canal relativa ao SAF (%)</i>	<i>100%</i>	<i>116%</i>	<i>126%</i>	<i>130%</i>	<i>175%</i>	<i>182%</i>
Recarga Aquífero (m <sup>3</sup> )	8,06E+08	7,80E+08	7,97E+08	7,69E+08	6,56E+08	6,64E+08
Recarga Aquífero (m <sup>3</sup> /ha/ano)	5,39E+03	5,22E+03	5,33E+03	5,14E+03	4,39E+03	4,44E+03
<i>Recarga Aquífero relativa ao SAF (%)</i>	<i>100%</i>	<i>97%</i>	<i>98%</i>	<i>95%</i>	<i>81%</i>	<i>82%</i>
<b>Total (m<sup>3</sup>)</b>	<b>2,40E+09</b>	<b>2,40E+09</b>	<b>2,40E+09</b>	<b>2,40E+09</b>	<b>2,40E+09</b>	<b>2,40E+09</b>
<b>Total (m<sup>3</sup>/ha/ano)</b>	<b>1,61E+04</b>	<b>1,61E+04</b>	<b>1,61E+04</b>	<b>1,61E+04</b>	<b>1,61E+04</b>	<b>1,61E+04</b>

*Agroflorestal (SAF)*: sistema ocupado em um terço da área por indivíduos arbóreos nativos, um terço por pastagem com manejo e um terço por agricultura com plantio direto.

*Pastagem com manejo*: sistema com adoção de práticas de conservação do solo e consumo animal de apenas metade da produção de biomassa bruta diária produzida pelo pasto.

*Business as usual*: sistema cuja área total é ocupada por 43% pastagens (sendo metade sem manejo e metade com manejo), 27% agricultura (sendo metade com práticas de conservação do solo e plantio direto e outra metade convencional) e 30% mata nativa.

*Agricultura plantio direto*: sistema de produção com práticas de conservação do solo como terraços, rotação de culturas (soja/milho) e plantio direto.

*Pastagem sem manejo*: sistema sem adoção de práticas de conservação do solo e consumo total da produção de biomassa bruta diária produzida pelo pasto.

*Agricultura convencional*: sistema sem práticas de conservação do solo e remoção total da biomassa produzida durante o período das colheitas (soja/milho).

Tabela 27. Fluxos monetários ao longo de três anos de simulação dos cenários de ocupação da bacia do Taquarizinho no ano 2026.

	<b>Agroflorestal (SAF)</b>	<b>Pastagem com manejo</b>	<b>Business as usual</b>	<b>Agricultura Plantio direto</b>	<b>Pastagem sem manejo</b>	<b>Agricultura convencional</b>
Evapotranspiração (EM\$)	11.346.388	10.767.685	10.890.644	10.112.622	9.741.686	9.350.714
Evapotranspiração (EM\$ ha <sup>-1</sup> ano <sup>-1</sup> )	75,87	72,00	72,82	67,62	65,14	62,52
Descarga Canal (EM\$)	3.585.900	3.095.620	2.894.410	646.847	367.871	-3.836.385
Descarga Canal (EM\$ ha <sup>-1</sup> ano <sup>-1</sup> )	23,98	20,70	19,35	4,33	2,46	-25,65
Recarga Aquífero (EM\$)	7.800.040	7.968.087	7.685.561	6.561.000	6.639.364	4.146.609
Recarga Aquífero (EM\$ ha <sup>-1</sup> ano <sup>-1</sup> )	52,16	53,28	51,39	43,87	44,39	27,73
<b>Total (EM\$)</b>	<b>22.732.330</b>	<b>21.831.394</b>	<b>21.470.615</b>	<b>17.320.470</b>	<b>16.748.923</b>	<b>9.660.937</b>
<b>Total (EM\$/ha/ano)</b>	<b>152,00</b>	<b>145,98</b>	<b>143,56</b>	<b>115,81</b>	<b>111,99</b>	<b>64,60</b>
<b>Total, valor relativo ao SAF (%)</b>	<b>100%</b>	<b>96%</b>	<b>94%</b>	<b>76%</b>	<b>74%</b>	<b>43%</b>

*Agroflorestal (SAF)*: sistema ocupado em um terço da área por indivíduos arbóreos nativos, um terço por pastagem com manejo e um terço por agricultura com plantio direto.

*Pastagem com manejo*: sistema com adoção de práticas de conservação do solo e consumo animal de apenas metade da produção de biomassa bruta diária produzida pelo pasto.

*Business as usual*: sistema cuja área total é ocupada por 43% pastagens (sendo metade sem manejo e metade com manejo), 27% agricultura (sendo metade com práticas de conservação do solo e plantio direto e outra metade convencional) e 30% mata nativa.

*Agricultura plantio direto*: sistema de produção com práticas de conservação do solo como terraços, rotação de culturas (soja/milho) e plantio direto.

*Pastagem sem manejo*: sistema sem adoção de práticas de conservação do solo e consumo total da produção de biomassa bruta diária produzida pelo pasto.

*Agricultura convencional*: sistema sem práticas de conservação do solo e remoção total da biomassa produzida durante o período das colheitas (soja/milho).

### 6.5.2 Serviços do carbono

Em relação aos serviços de carbono, os seis cenários também apresentaram desempenhos bastante distintos entre si. No que tange ao serviço de sequestro de carbono na biomassa viva (equivalente ao NPP), observa-se no Gráfico 69 que o cenário com predomínio de sistema agroflorestal (SAF) é aquele que apresentou maiores valores ao longo dos três anos de simulação; o valor médio de  $0,99 \text{ tC ha}^{-1}\text{ano}^{-1}$  foi principalmente devido ao maior estoque de biomassa vegetal que possibilitou maior entrada de carbono na bacia via produção primária bruta. Em seguida, o cenário agricultura em plantio direto, que apresentou um potencial simulado de fixação de carbono na biomassa de  $0,90 \text{ tC ha}^{-1}\text{ano}^{-1}$ , pois parte da biomassa fixada fica depositada sobre o solo no campo, após a colheita. Além disso, nesse cenário assumiu-se 20% da área da bacia com reserva legal, coberta por Cerrado, o que contribui para o sequestro de carbono na biomassa.

Na sequência, observa-se o cenário de pastagem com manejo, cujo NPP médio ao longo de três anos foi de  $0,63 \text{ tC ha}^{-1}\text{ano}^{-1}$ , provavelmente devido à consideração de que apenas metade da produção diária bruta de biomassa nas áreas de pastagens é consumida pelo gado, evitando o declínio do estoque de biomassa viva. Em seguida, o cenário de agricultura convencional que apresentou o quarto maior valor de NPP acumulado ao longo de três anos, gerando um valor médio de  $0,55 \text{ tC ha}^{-1}\text{ano}^{-1}$ , provavelmente devido a existência de reserva legal na bacia, já que foi assumido que toda a biomassa produzida em área agrícola é retirada da bacia após as colheitas. No caso do cenário *business as usual*, o valor médio de NPP de  $0,16 \text{ tC ha}^{-1}\text{ano}^{-1}$  foi menor que o dos cenários anteriores provavelmente devido ao predomínio de pastagens, sendo metade delas consideradas como degradadas devido a ausência de manejo. De fato, o cenário de pastagens sem manejo apresentou um valor de NPP de  $-0,17 \text{ tC ha}^{-1}\text{ano}^{-1}$ , o que significa que a consideração de que o gado consumiria toda a biomassa produzida diariamente em área de pastagem levou a um declínio do estoque de biomassa na bacia, sendo que nem mesmo a área de Cerrado existente na reserva legal fosse capaz de compensar as perdas de carbono na biomassa da pastagem sem manejo.

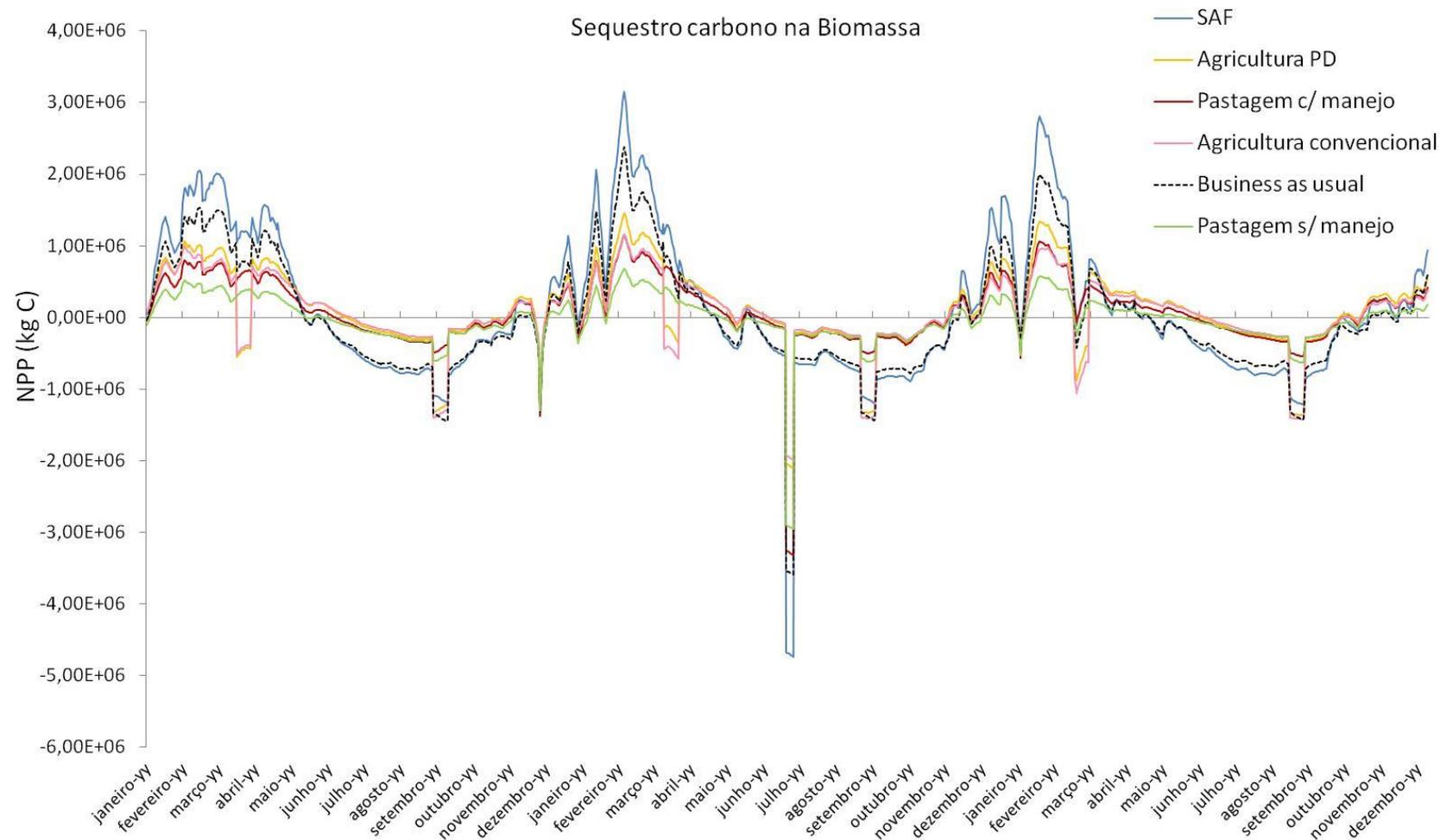


Gráfico 69. Fluxos de sequestro de carbono simulados ao longo de três anos, considerando seis cenários diferentes para o ano de 2026: predomínio de sistema agroflorestal (SAF), pastagens com manejo, condição business as usual, agricultura com plantio direto, pastagens sem manejo, e agricultura convencional.

Os valores monetários equivalentes ao serviço de sequestro de carbono na biomassa estão expressos no gráfico a seguir. Como é possível observar, o predomínio de sistema SAF apresentou a melhor performance dentre os seis cenários simulados, com um valor médio de EM\$ 46,73 ha<sup>-1</sup>ano<sup>-1</sup>. Em segundo lugar, observa-se a agricultura de plantio direto, a qual, apesar de gerar menores valores de fixação bruta durante os anos, apresentou um sequestro líquido na biomassa equivalente a EM\$ 42,44 ha<sup>-1</sup>ano<sup>-1</sup>. No caso do cenário de pastagem com manejo, o sequestro líquido na biomassa da bacia ao longo de três anos foi um pouco menor devido ao menor porte da biomassa que, em média sequestrou o equivalente a EM\$ 29,77 ha<sup>-1</sup>ano<sup>-1</sup>. No caso do cenário de agricultura convencional, apesar da retirada total da biomassa agrícola após os eventos de colheita, existe um sequestro líquido na bacia, auxiliado pela presença de áreas de Cerrado da Reserva Legal, que contribuíram para um serviço de EM\$ 25,68 ha<sup>-1</sup>ano<sup>-1</sup>. Em penúltimo lugar, em termos de sequestro de carbono na biomassa, está o cenário *business as usual* que, apesar de apresentar o segundo maior NPP durante os períodos de chuva, termina com uma fixação média de apenas EM\$ 7,32 ha<sup>-1</sup>ano<sup>-1</sup>. Em último lugar, está a pastagem sem manejo que, apesar de fixar carbono durante o período de chuvas, gerou uma situação de emissão líquida de carbono pela biomassa da ordem de EM\$ -4,97 ha<sup>-1</sup>ano<sup>-1</sup>, indicando um desserviço ecossistêmico nesse caso.

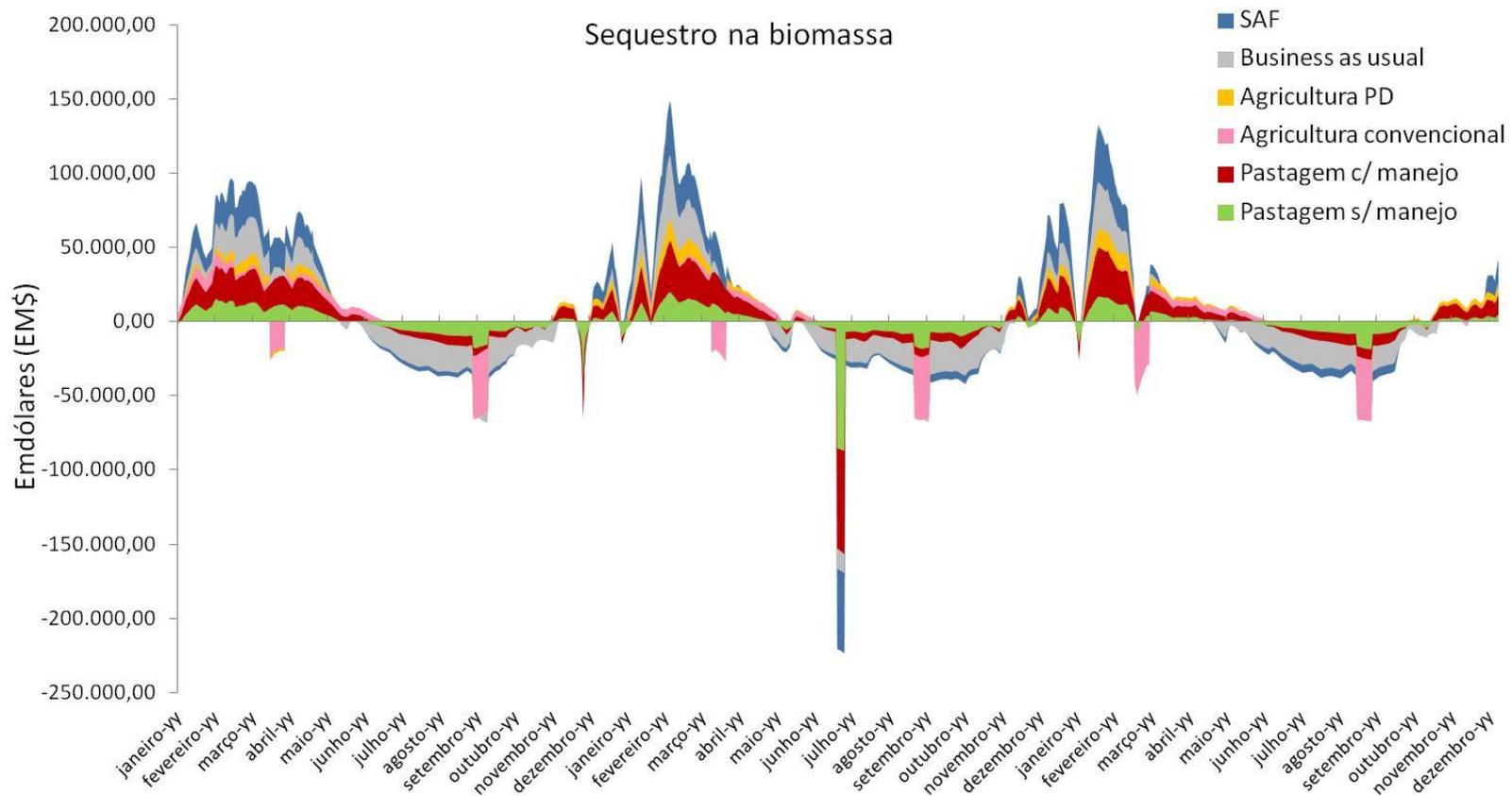


Gráfico 70. Valores em Emdólares (EM\$) de sequestro na biomassa simulados ao longo de três anos, considerando seis cenários diferentes para o ano de 2026: predomínio de sistema agroflorestal (SAF), pastagens com manejo, condição business as usual, agricultura com plantio direto, pastagens sem manejo, e agricultura convencional.

Em relação à dinâmica de sequestro de carbono na liteira, o modelo hidrocarbono não gerou grandes diferenças entre os fluxos para cada cenário simulado, sendo que o estoque de liteira apresentou uma função de um buffer que realizava a intermediação de fluxos entre biomassa e solo, cuja magnitude de fluxos de carbono e monetárias foram praticamente insignificantes quando comparadas às observadas na biomassa e no solo.

Como é possível observar no Gráfico 71, não há distinção visualmente perceptível entre os cenários em termos de produção de carbono na liteira. Os valores totais de sequestro para todos os cenários foram bastante similares, na ordem de EM\$ 2.000,00 ao longo de três anos, o que gera um valor muito baixo para esse serviço em termos anuais por área: EM\$ 0,02 ha<sup>-1</sup>ano<sup>-1</sup>. Portanto, nesse caso, não houve uma diferença importante entre os seis cenários simulados para o ano de 2026: predomínio de sistema agroflorestal (SAF), pastagens com manejo, condição business as usual, agricultura com plantio direto, pastagens sem manejo e agricultura convencional apresentaram desempenho semelhante de acordo com o modelo hidrocarbono.

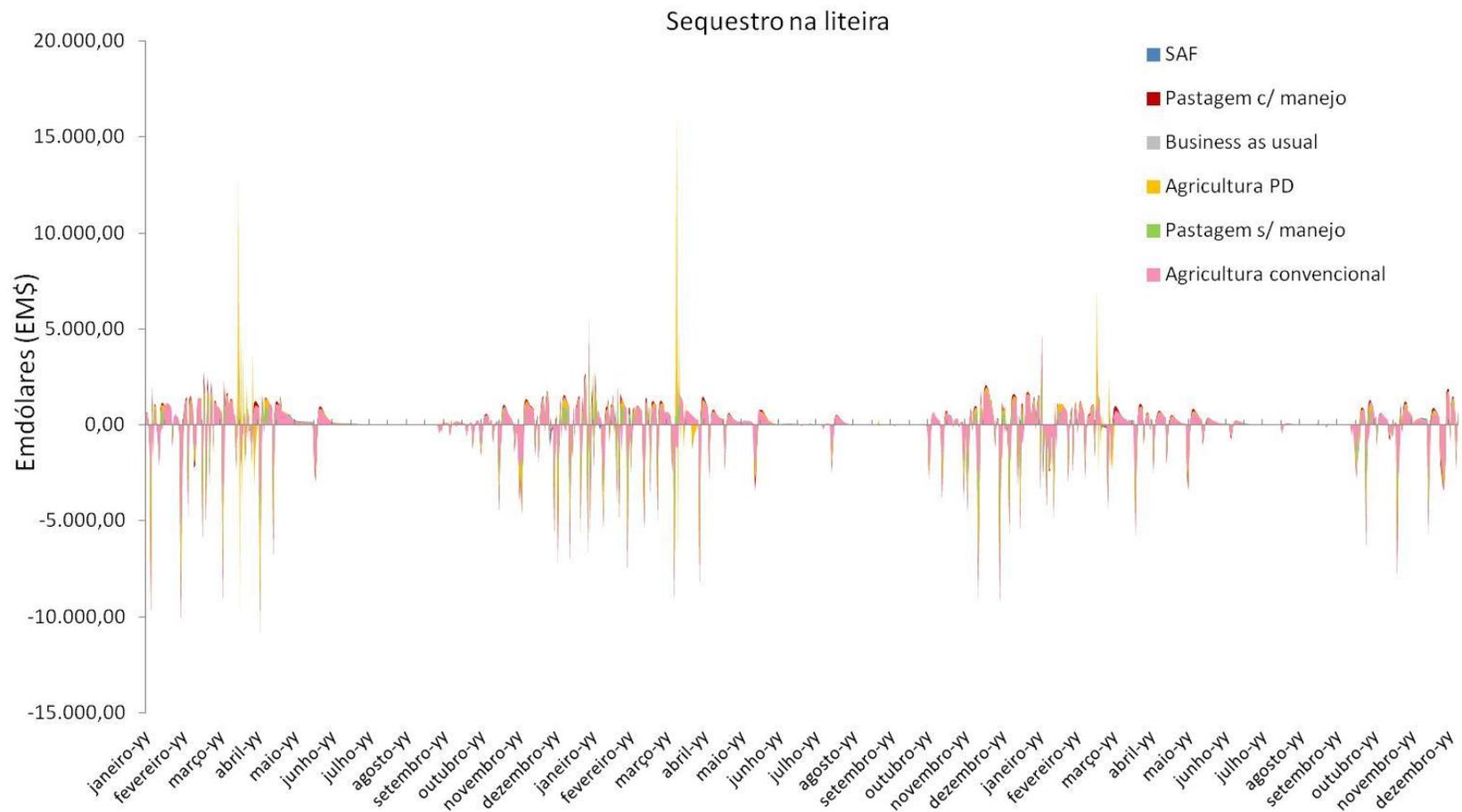


Gráfico 71. Valores em Emdólares (EM\$) de sequestro na liteira simulados ao longo de três anos, considerando seis cenários diferentes para o ano de 2026: predomínio de sistema agroflorestal (SAF), pastagens com manejo, condição business as usual, agricultura com plantio direto, pastagens sem manejo, e agricultura convencional.

Já no caso do serviço de sequestro de carbono no solo, existem grandes diferenças geradas pelo modelo hidrocarbono para os seis diferentes cenários de ocupação futura da Bacia do Taquarizinho. Como é possível observar no Gráfico 72, a dinâmica do estoque de carbono total no solo da bacia é bastante variável entre os cenários. O cenário SAF apresentou a maior curva crescente de carbono no solo, cujo incremento médio foi de  $+0,13 \text{ tC ha}^{-1}\text{ano}^{-1}$ , superando os acréscimos simulados para pastagem com manejo ( $+0,09 \text{ tC ha}^{-1}\text{ano}^{-1}$ ) e agricultura com plantio direto ( $+0,02 \text{ tC ha}^{-1}\text{ano}^{-1}$ ). Já no caso dos outros cenários, existiu uma redução do estoque inicial de carbono do solo, que apresentou uma taxa média de decréscimo de  $-0,01 \text{ tC ha}^{-1}\text{ano}^{-1}$  para o cenário *business as usual*,  $-0,09 \text{ tC ha}^{-1}\text{ano}^{-1}$  para a pastagem sem manejo e de  $-0,33 \text{ tC ha}^{-1}\text{ano}^{-1}$  para a agricultura convencional.

Portanto, os resultados da simulação apontam serviços de sequestro de solo na Bacia do Taquarizinho para os cenários SAF, pastagem com manejo e agricultura com plantio direto. No entanto, para os cenários *business as usual*, pastagem sem manejo e agricultura convencional, o carbono total do solo está sendo degradado, principalmente para agricultura convencional, onde as taxas de perda do estoque de carbono são nitidamente superiores aos outros dois cenários.

Traduzindo tais valores em termos monetários, é possível observar no Gráfico 73 que em todos os cenários existem períodos em que são gerados serviços de sequestro e desserviços de emissão de carbono do solo. Os dois maiores valores relativos a sequestro de carbono no solo dizem respeito aos cenários de sistema SAF, com um sequestro médio de  $\text{EM\$ } 5,95 \text{ ha}^{-1}\text{ano}^{-1}$ , e de pastagem com manejo, cujo serviço líquido foi de  $\text{EM\$ } 4,31 \text{ ha}^{-1}\text{ano}^{-1}$ . No caso da agricultura com plantio direto, observam-se no gráfico os picos de incorporação de carbono no solo, que coincidem com o período de colheitas, quando a biomassa residual colhida é depositada sobre o solo, favorecendo o sequestro de carbono, que atingiu um valor médio de  $\text{EM\$ } 0,81 \text{ ha}^{-1}\text{ano}^{-1}$ .

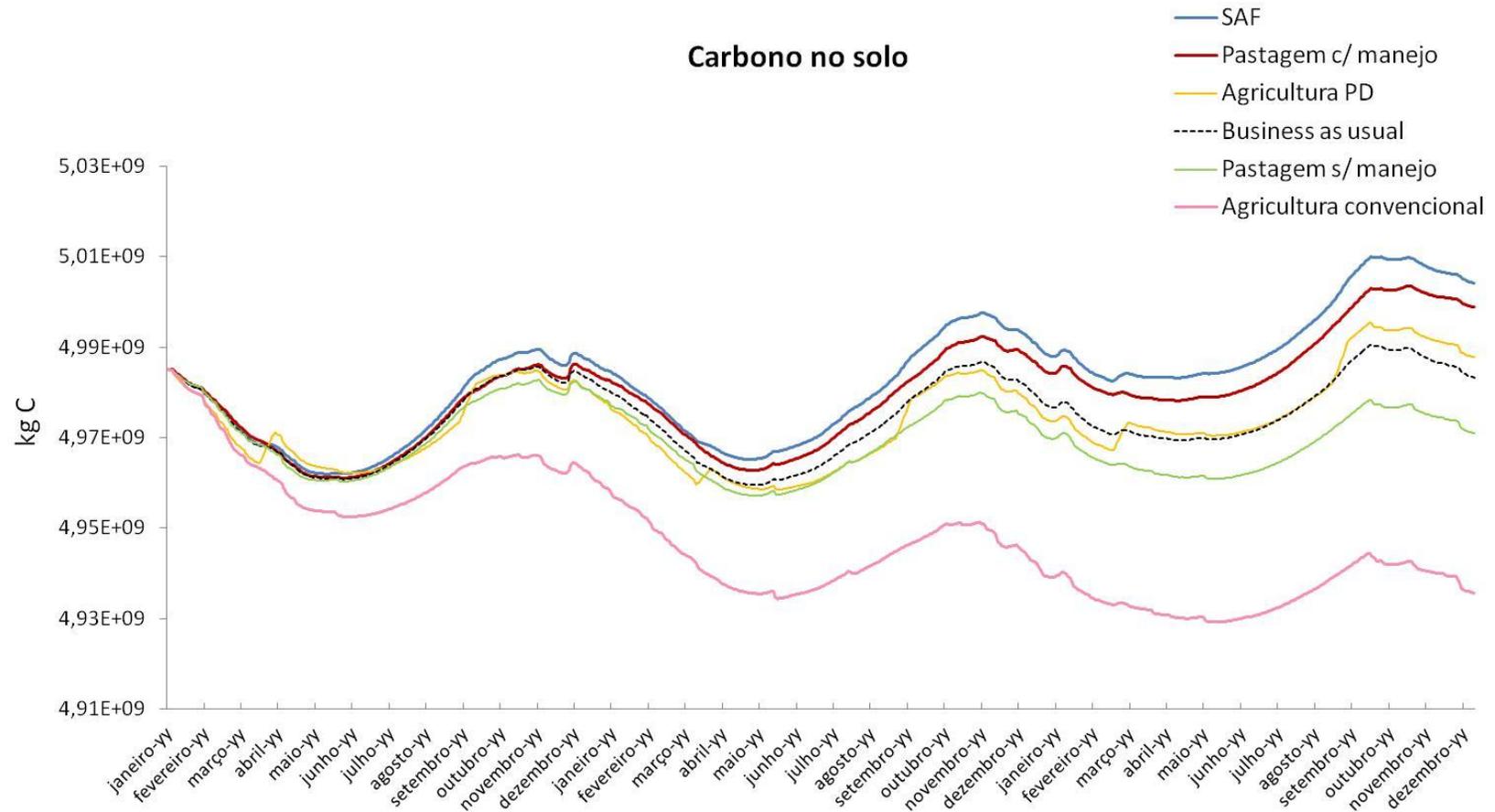


Gráfico 72. Dinâmica do estoque de carbono no solo simulado ao longo de três anos, considerando seis cenários diferentes para o ano de 2026: predomínio de sistema agroflorestal (SAF), pastagens com manejo, condição business as usual, agricultura com plantio direto, pastagens sem manejo, e agricultura convencional.

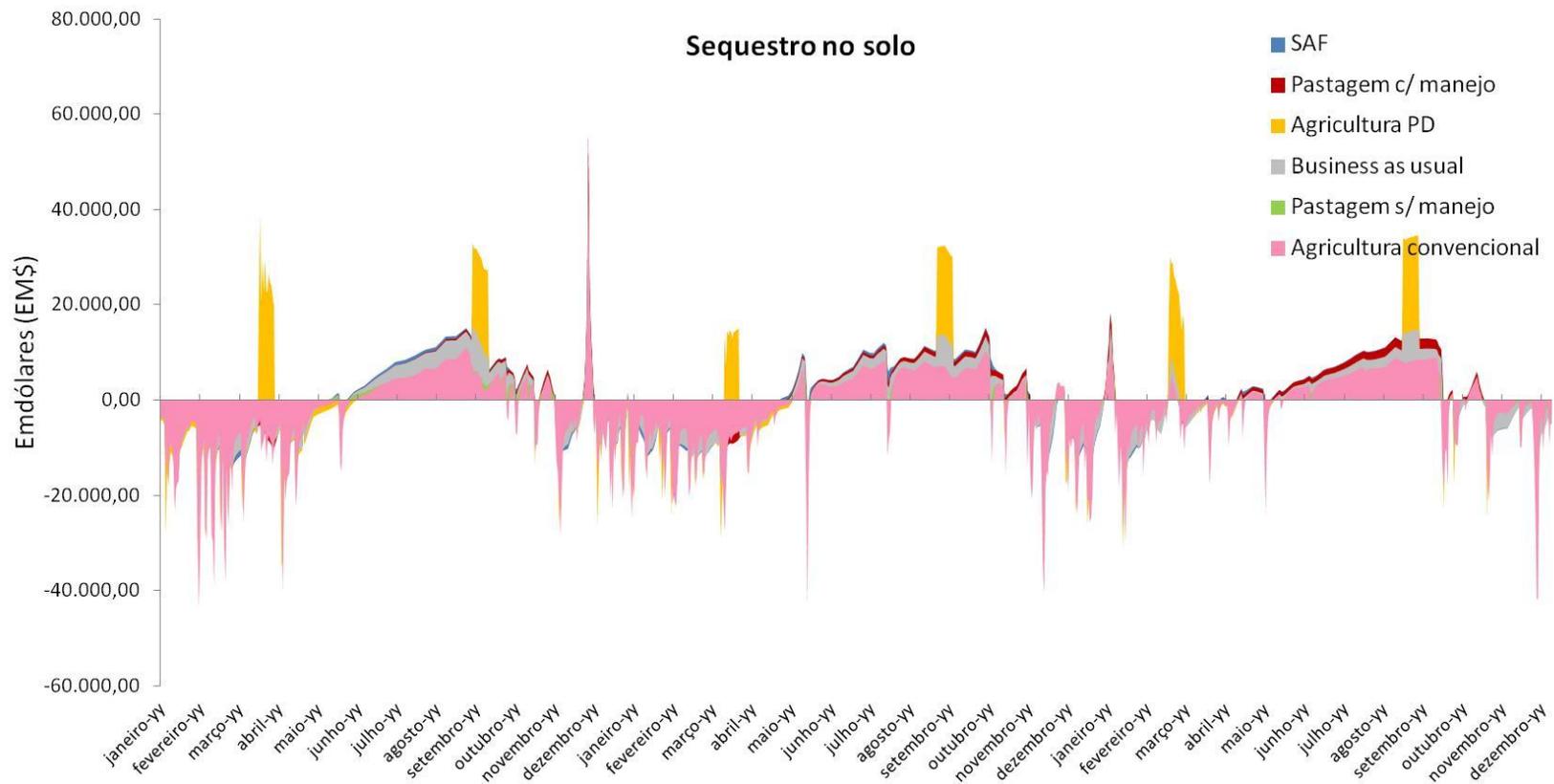


Gráfico 73. Valores monetários de sequestro de carbono no solo simulado ao longo de três anos, considerando seis cenários diferentes para o ano de 2026: predomínio de sistema agroflorestal (SAF), pastagens com manejo, condição business as usual, agricultura com plantio direto, pastagens sem manejo, e agricultura convencional.

Apesar de a agricultura de plantio direto apresentar um valor baixo para o serviço de sequestro de carbono no solo, ainda há um saldo positivo relacionada a esse cenário. Já no caso da agricultura convencional, o valor foi o pior dentre os seis simulados, gerando um valor médio de cerca de EM\$ -15,59 ha<sup>-1</sup>ano<sup>-1</sup>. Como é possível observar no Gráfico 73, a elevada perda de solo por runoff e ausência de práticas conservacionistas maximizam os fluxos de saída de carbono do solo e minimizam a entrada de carbono no solo devido à colheita total da biomassa acumulada em áreas agrícolas. Nesse caso, nem mesmo os processos de sequestro de carbono existentes nas áreas de Cerrado da reserva legal foram suficientes para compensar a perda de carbono nas partes agrícolas da bacia.

No caso do cenário *business as usual*, também houve geração de desserviço no agregado da bacia, pois houve a perda de carbono no solo da bacia foi equivalente a EM\$ -0,60 ha<sup>-1</sup>ano<sup>-1</sup>. E, no caso das pastagens sem manejo, o valor do desserviço foi superior, cerca de EM\$ -2,70 ha<sup>-1</sup>ano<sup>-1</sup>. No entanto, nenhum desses desserviços estão próximos da magnitude das perdas de carbono do solo simuladas para áreas com predomínio de agricultura convencional.

As Tabelas 28 e 29 mostram os resultados agregados de todos os cenários simulados em relação ao somatório de geração de serviços do carbono na Bacia do Taquarizinho. Percebe-se que a sequencia decrescente de melhores performances para o sequestro de carbono foi observada para os cenários Agroflorestal (SAF), Agricultura plantio direto, Pastagem com manejo, Agricultura convencional, Business as usual e Pastagem sem manejo. Com exceção à pastagem sem manejo, os outros cinco cenários foram capazes de serem considerados sumidouros de carbono.

O sequestro líquido de carbono do cenário SAF foi o superior, com um valor médio de 1,1 tC ha<sup>-1</sup>ano<sup>-1</sup>. Em seguida, os cenários Agricultura plantio direto (0,92 tC ha<sup>-1</sup>ano<sup>-1</sup>), Pastagem com manejo (0,72 tC ha<sup>-1</sup>ano<sup>-1</sup>), Agricultura convencional (0,21 tC ha<sup>-1</sup>ano<sup>-1</sup>) e *Business as usual* (0,14 tC ha<sup>-1</sup>ano<sup>-1</sup>). Como já dito, o cenário pastagem sem manejo apresentou uma emissão líquida simulada como -0,17 tC ha<sup>-1</sup>ano<sup>-1</sup>, que significa que o sistema é um emissor de carbono para atmosfera.

Tabela 28. Fluxos do carbono ao longo de três anos de simulação para os cenários de ocupação da bacia do Taquarizinho em 2026.

	<b>Agroflorestal (SAF)</b>	<b>Agricultura Plantio direto</b>	<b>Pastagem com manejo</b>	<b>Agricultura convencional</b>	<b>Business as usual</b>	<b>Pastagem sem manejo</b>
Sequestro biomassa (tC)	146.959	134.697	94.496	81.516	23.220	-15.789
Sequestro biomassa (tC ha <sup>-1</sup> ano <sup>-1</sup> )	0,98	0,90	0,63	0,55	0,16	-0,11
<i>Sequestro biomassa relativo ao SAF (%)</i>	<i>100%</i>	<i>92%</i>	<i>64%</i>	<i>56%</i>	<i>17%</i>	<i>-11%</i>
Sequestro liteira (tC)	-49,81	-0,65	-31,65	20,91	-48,04	-21,90
Sequestro liteira (tC ha <sup>-1</sup> ano <sup>-1</sup> )	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
<i>Sequestro liteira relativo ao SAF (%)</i>	<i>100%</i>	<i>100%</i>	<i>100%</i>	<i>100%</i>	<i>100%</i>	<i>100%</i>
Sequestro solo (tC)	18.899	2.575	13.669	-49.477	-1.889	-8.866
Sequestro solo (tCha <sup>-1</sup> ano <sup>-1</sup> )	0,13	0,02	0,09	-0,33	-0,01	-0,06
<i>Sequestro solo relativo ao SAF (%)</i>	<i>100%</i>	<i>15%</i>	<i>69%</i>	<i>-253%</i>	<i>-8%</i>	<i>-46%</i>
Sequestro líquido (tC)	165.809,48	137.272,61	108.133,82	32.059,55	21.282,72	-24.677,54
<b>Sequestro líquido (tC ha<sup>-1</sup>ano<sup>-1</sup>)</b>	<b>1,11</b>	<b>0,92</b>	<b>0,72</b>	<b>0,21</b>	<b>0,14</b>	<b>-0,17</b>
<b><i>Sequestro líquido relativo ao SAF (%)</i></b>	<b><i>100%</i></b>	<b><i>83%</i></b>	<b><i>65%</i></b>	<b><i>19%</i></b>	<b><i>13%</i></b>	<b><i>-15%</i></b>

Agroflorestal (SAF): sistema ocupado em um terço da área por indivíduos arbóreos nativos, um terço por pastagem com manejo e um terço por agricultura com plantio direto.

Pastagem com manejo: sistema com adoção de práticas de conservação do solo e consumo animal de apenas metade da produção de biomassa bruta diária produzida pelo pasto.

*Business as usual*: sistema cuja área total é ocupada por 43% pastagens (sendo metade sem manejo e metade com manejo), 27% agricultura (sendo metade com práticas de conservação do solo e plantio direto e outra metade convencional) e 30% mata nativa.

Agricultura plantio direto: sistema de produção com práticas de conservação do solo como terraços, rotação de culturas (soja/milho) e plantio direto.

Pastagem sem manejo: sistema sem adoção de práticas de conservação do solo e consumo total da produção de biomassa bruta diária produzida pelo pasto.

Agricultura convencional: sistema sem práticas de conservação do solo e remoção total da biomassa produzida durante o período das colheitas (soja/milho).

Tabela 29. Fluxos monetários do carbono ao longo de três anos de simulação para os cenários da bacia do Taquarizinho em 2026.

	<b>Agroflorestal (SAF)</b>	<b>Agricultura Plantio direto</b>	<b>Pastagem com manejo</b>	<b>Agricultura convencional</b>	<b>Business as usual</b>	<b>Pastagem sem manejo</b>
Sequestro biomassa (EM\$)	6.924.738	6.346.956	4.452.658	3.841.036	1.094.147	-744.007
Sequestro biomassa (EM\$ ha <sup>-1</sup> ano <sup>-1</sup> )	46,30	42,44	29,77	25,68	7,32	-4,97
Sequestro liteira (EM\$)	-2.347	-30	-1.491	985	-2.263	-1.031
Sequestro liteira (EM\$ ha <sup>-1</sup> ano <sup>-1</sup> )	-0,02	0,00	-0,01	0,01	-0,02	-0,01
Sequestro solo (EM\$)	890.551	121.359	644.098	-2.331.376	-89.041	-417.765
Sequestro solo (EM\$ ha <sup>-1</sup> ano <sup>-1</sup> )	5,95	0,81	4,31	-15,59	-0,60	-2,79
Total (EM\$)	7.812.942	6.468.285	5.095.265	1.510.645	1.002.841	-1.162.805
<b>Total (EM\$ ha<sup>-1</sup> ano<sup>-1</sup>)</b>	<b>52,24</b>	<b>43,25</b>	<b>34,07</b>	<b>10,10</b>	<b>6,71</b>	<b>-7,78</b>
<b>Total, valor relativo ao SAF (%)</b>	<b>100%</b>	<b>83%</b>	<b>65%</b>	<b>19%</b>	<b>13%</b>	<b>-15%</b>

Agroflorestal (SAF): sistema ocupado em um terço da área por indivíduos arbóreos nativos, um terço por pastagem com manejo e um terço por agricultura com plantio direto.

Pastagem com manejo: sistema com adoção de práticas de conservação do solo e consumo animal de apenas metade da produção de biomassa bruta diária produzida pelo pasto.

*Business as usual*: sistema cuja área total é ocupada por 43% pastagens (sendo metade sem manejo e metade com manejo), 27% agricultura (sendo metade com práticas de conservação do solo e plantio direto e outra metade convencional) e 30% mata nativa.

Agricultura plantio direto: sistema de produção com práticas de conservação do solo como terraços, rotação de culturas (soja/milho) e plantio direto.

Pastagem sem manejo: sistema sem adoção de práticas de conservação do solo e consumo total da produção de biomassa bruta diária produzida pelo pasto.

Agricultura convencional: sistema sem práticas de conservação do solo e remoção total da biomassa produzida durante o período das colheitas (soja/milho)

Como é possível observar na Tabela 29, o serviço de sequestro líquido de carbono do cenário SAF foi o superior, com um valor médio de EM\$ 52,24 ha<sup>-1</sup>ano<sup>-1</sup>. Em seguida, os cenários Agricultura plantio direto (EM\$ 43,25 ha<sup>-1</sup>ano<sup>-1</sup>), Pastagem com manejo (EM\$ 34,07 ha<sup>-1</sup>ano<sup>-1</sup>), Agricultura convencional (EM\$ 10,10 ha<sup>-1</sup>ano<sup>-1</sup>), e Business as usual (EM\$ 6,71 ha<sup>-1</sup>ano<sup>-1</sup>). Analogamente aos fluxos de massa, o cenário pastagem sem manejo apresentou um desserviço ecossistêmico líquido simulada como EM\$ -7,78 ha<sup>-1</sup>ano<sup>-1</sup>, que significa que o sistema é um gerador de desserviço em relação aos serviços do carbono.

### 6.5.3 Serviços agregados: hidrológicos e do carbono

Levando-se em consideração o potencial de geração de serviços hidrológicos e do carbono para cada um dos cenários futuros de ocupação do solo, a Tabela 30 a seguir mostra os resultados finais gerados pelo exercício de modelagem e simulação utilizando o modelo hidrocarbono para a Bacia do Taquarizinho.

O sistema agroflorestal (SAF) terminou na primeira posição entre os seis cenários quando levou-se em conta o agregado de serviços da água e do carbono, com um total de EM\$ 30.545.273,08 para os três anos simulados, equivalente a uma taxa média de prestação de serviços ecossistêmicos de EM\$ 204,24 ha<sup>-1</sup>ano<sup>-1</sup>. Em seguida, o cenário de Pastagem com manejo, cuja agregação de serviços foi de EM\$ 26.926.660,05, equivalente a EM\$ 180,05 ha<sup>-1</sup>ano<sup>-1</sup>. Na terceira posição, observa-se a Agricultura de Plantio Direto, cujos serviços totais foram de EM\$ 23.788.755,68 ao longo do triênio simulado, provendo serviços a uma taxa média de EM\$ 159,06 ha<sup>-1</sup>ano<sup>-1</sup>. Em seguida, o cenário *Business as usual*, com um acumulado de EM\$ 22.473.457,61 equivalente a EM\$ 150,27 ha<sup>-1</sup>ano<sup>-1</sup>. Na penúltima colocação, observa-se o cenário de Pastagem sem Manejo, cujo valor integral simulado foi de EM\$ 15.586.117,52 ou EM\$ 104,22 ha<sup>-1</sup>ano<sup>-1</sup>. E finalmente, com o pior desempenho entre os cenários, a Agricultura Convencional, que apresentou, aproximadamente, um terço do potencial de geração de serviços do cenário SAF, totalizando EM\$ 11.171.583,81, ou EM\$ 74,70 ha<sup>-1</sup>ano<sup>-1</sup>.

Tabela 30. Serviços hidrológicos e do carbono para três anos de simulação para os cenários de ocupação da bacia do Taquarizinho em 2026.

	<b>Agroflorestal (SAF)</b>	<b>Pastagem com manejo</b>	<b>Agricultura plantio direto</b>	<b>Business as usual</b>	<b>Pastagem sem manejo</b>	<b>Agricultura convencional</b>
Serviço hidrológico (EM\$)	22.732.330	21.831.394	17.320.470	21.470.615	16.748.923	9.660.937
Serviço hidrológico (EM\$ ha <sup>-1</sup> ano <sup>-1</sup> )	152,00	145,98	115,81	143,56	111,99	64,60
Serviço do carbono (EM\$)	7.812.942	5.095.265,76	6.468.285,60	1.002.841,75	-1.162.805,49	1.510.645
Serviço do carbono (EM\$ ha <sup>-1</sup> ano <sup>-1</sup> )	52,24	34,07	43,25	6,71	-7,78	10,10
<b>Total (EM\$)</b>	<b>30.545.273</b>	<b>26.926.660</b>	<b>23.788.755</b>	<b>22.473.457</b>	<b>15.586.117</b>	<b>11.171.583</b>
<b>Total (EM\$ ha<sup>-1</sup>ano<sup>-1</sup>)</b>	<b>204,24</b>	<b>180,05</b>	<b>159,06</b>	<b>150,27</b>	<b>104,22</b>	<b>74,70</b>
<b>Total, valor relativo ao SAF (%)</b>	<b>100%</b>	<b>88%</b>	<b>78%</b>	<b>74%</b>	<b>51%</b>	<b>36%</b>

Agroflorestal (SAF): sistema ocupado em um terço da área por indivíduos arbóreos nativos, um terço por pastagem com manejo e um terço por agricultura com plantio direto.

Pastagem com manejo: sistema com adoção de práticas de conservação do solo e consumo animal de apenas metade da produção de biomassa bruta diária produzida pelo pasto.

*Business as usual*: sistema cuja área total é ocupada por 43% pastagens (sendo metade sem manejo e metade com manejo), 27% agricultura (sendo metade com práticas de conservação do solo e plantio direto e outra metade convencional) e 30% mata nativa.

Agricultura plantio direto: sistema de produção com práticas de conservação do solo como terraços, rotação de culturas (soja/milho) e plantio direto.

Pastagem sem manejo: sistema sem adoção de práticas de conservação do solo e consumo total da produção de biomassa bruta diária produzida pelo pasto.

Agricultura convencional: sistema sem práticas de conservação do solo e remoção total da biomassa produzida durante o período das colheitas (soja/milho).

## 6.6 Trade-offs associados à mudança de uso da terra

Os gráficos e tabelas que descrevem os valores dos serviços ecossistêmicos dos seis cenários simulados anteriormente apontam para valores positivos quando somados a geração de serviços hidrológicos e do carbono. No entanto, quando se leva em conta o potencial de prestação de serviços em um cenário Preservado, ou seja, em uma bacia com 100% de Cerrado nativo, todos os seis cenários saem em desvantagem. De acordo com a simulação realizada para o cenário Preservado, o potencial de geração de serviços agregados seria de EM\$ 37.031.189, equivalente a uma média de EM\$ 247 ha<sup>-1</sup>ano<sup>-1</sup>.

Portanto, o potencial máximo de geração de serviços hidrológicos e do carbono na Bacia do Taquarizinho, sob condições de pluviosidade observadas no período de 2006 a 2008, seria de EM\$ 247 ha<sup>-1</sup>ano<sup>-1</sup> considerando o cenário Preservado. Partindo desse referencial máximo, observa-se no Gráfico 74b os *trade offs* associados a conversão da bacia Preservada para os seis cenários futuros de mudança de uso de solo. Observa-se que a menor perda potencial seria para o cenário SAF, quando o *trade off* total atingiria EM\$ -43 ha<sup>-1</sup>ano<sup>-1</sup>, seguido dos cenários de Pastagem com manejo com EM\$ -67,56 ha<sup>-1</sup>ano<sup>-1</sup>, Agricultura de Plantio Direto com EM\$ -88 ha<sup>-1</sup>ano<sup>-1</sup>, *Business as usual* de EM\$ -97 ha<sup>-1</sup>ano<sup>-1</sup>, Pastagem degradada com EM\$ -143 ha<sup>-1</sup>ano<sup>-1</sup> e, por fim, Agricultura convencional, equivalente a um *trade off* de EM\$ -172 ha<sup>-1</sup>ano<sup>-1</sup>.

Por outro lado, partindo de um referencial mínimo, que seriam os valores de serviços gerados por um hectare de agricultura convencional, pode-se inferir quais seriam os ganhos caso essa condição de ocupação fosse convertida seguindo os cenários criados. Como mostra o Gráfico 74a, o maior ganho seria caso se uma área sob agricultura convencional fosse recuperada para o cenário Preservado; assim, cerca de EM\$ 172,91 ha<sup>-1</sup>ano<sup>-1</sup> seriam adicionados em serviços hidrológicos e do carbono, seguido dos cenários SAF (EM\$ 129 ha<sup>-1</sup>ano<sup>-1</sup>), Pastagem com manejo (EM\$ 105 ha<sup>-1</sup>ano<sup>-1</sup>), Agricultura de plantio direto (EM\$ 84 ha<sup>-1</sup>ano<sup>-1</sup>), *business as usual* (EM\$ 75 ha<sup>-1</sup>ano<sup>-1</sup>) e pastagem sem manejo (EM\$ 29 ha<sup>-1</sup>ano<sup>-1</sup>).

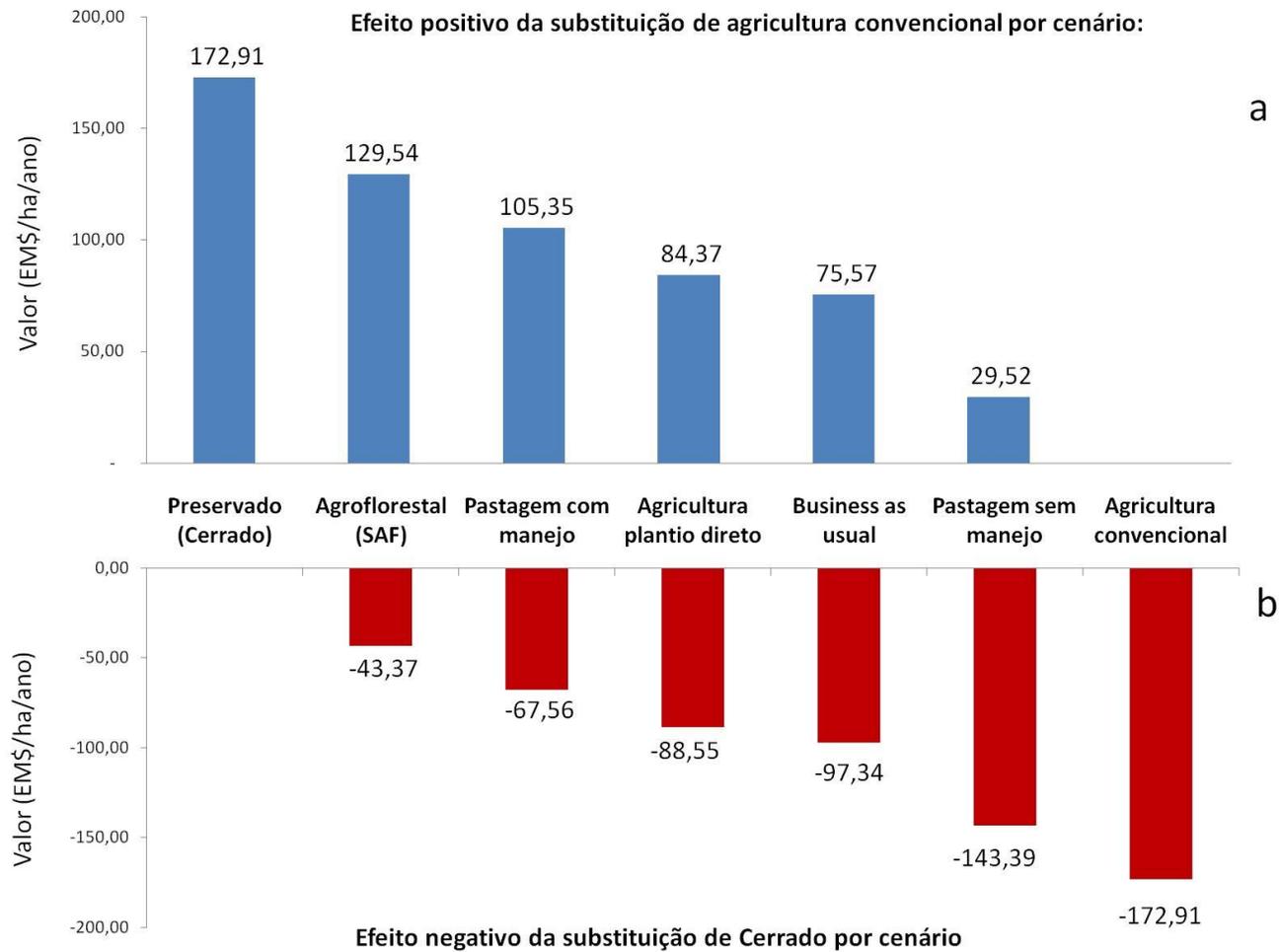


Gráfico 74. Valores monetários anuais associados (a) ao ganho da conversão de um hectare de Agricultura Convencional e (b) da perda de um hectare de Cerrado na Bacia do Taquarizinho para dar lugar aos sistemas de agroflorestal (SAF), pastagens com manejo, agricultura com plantio direto, condição *business as usual*, pastagens sem manejo, e agricultura convencional.

### 6.7 Perfil de geração de serviços ecossistêmicos

Os resultados da modelagem e simulação mostrados no Gráfico 74 mostram a hierarquia existente a respeito da prestação de serviços hidrológicos. Dentro do contexto dessa tese, as áreas de Cerrado são aquelas no topo da hierarquia de geração de serviços hidrológicos e do carbono (EM\$ 250 ha<sup>-1</sup>ano<sup>-1</sup>), ao passo que o cenário de agricultura convencional apresentou a pior colocação nesse *ranking* (EM\$ 74 ha<sup>-1</sup>ano<sup>-1</sup>). Em caráter complementar, é possível representar os resultados da simulação de cenários através do olhar sobre o perfil da geração de serviços hidrológicos e do carbono, mostrado no Gráfico 75. Nos três vértices superiores, encontram-se os serviços hidrológicos e, nos vértices inferiores, os serviços do carbono. Nesse gráfico, fixou-se o Cerrado como sendo o cenário com os valores máximos relativos (1,0 ou 100%) para todos os seis serviços avaliados. Os valores foram baseados na Tabela 40 (ver Anexo VIII), calculados a partir da comparação dos valores em termos de EM\$ ha<sup>-1</sup>ano<sup>-1</sup> para cada cenário, em relação ao cenário Preservado.

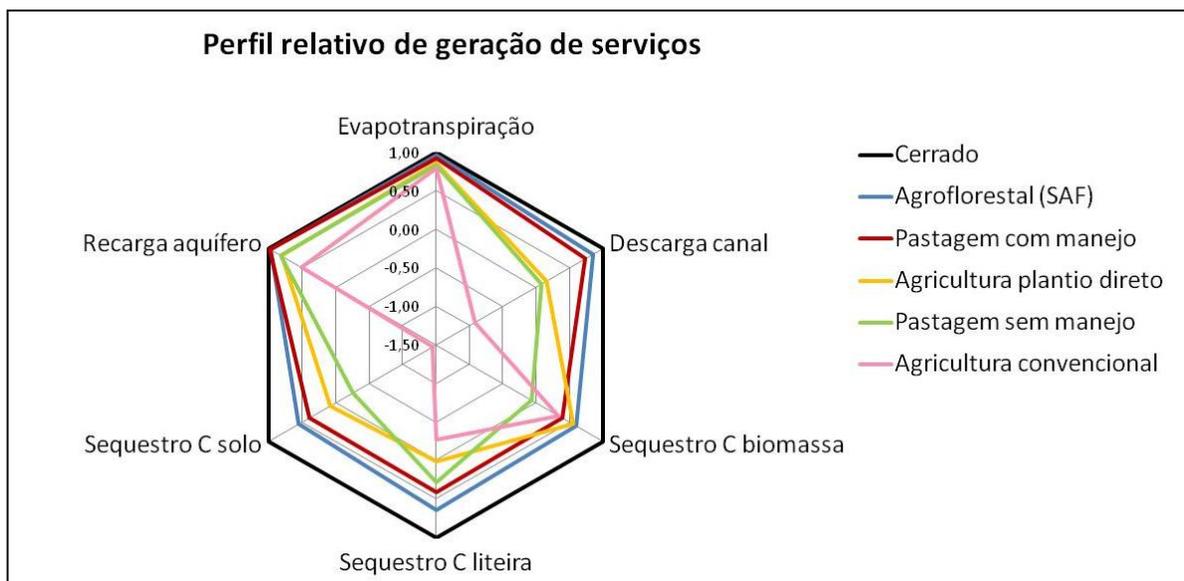


Gráfico 75. Perfil relativo de geração de serviços ecossistêmicos por cenário.

A agricultura convencional, apesar de possuir a pior posição final na hierarquia de valores, apresenta um serviço de sequestro na biomassa superior ao cenário de pastagem sem manejo e é bastante próximo ao serviço da pastagem com manejo. Por outro lado, todos os outros serviços da agricultura convencional são bastante inferiores a

todos os outros cenários, principalmente em relação ao sequestro de carbono solo, com um valor de -1,5 em relação ao valor unitário do Cerrado.

Outro fato interessante é observação do formato dos polígonos do Gráfico 75. Observa-se que o hexágono dos sistemas Agroflorestal (SAF) e Pastagem com manejo apresentam o perfil ou formato que mais se aproxima da condição natural do Cerrado, o que mostra uma proximidade de padrão de comportamento sobre a prestação de serviços hidrológicos e do carbono. Em uma outra categoria, ou seja, com polígonos mais "deformados" em relação ao padrão Preservado, observam-se os cenários de agricultura de plantio direto, pastagem sem manejo e, principalmente, a agricultura convencional, cujo formato do polígono é discrepante em relação ao hexágono externo, fato que mostra o grande distanciamento em relação ao perfil natural de geração de serviços ecossistêmicos da região.

O perfil de geração de serviços ecossistêmicos mostrado no Gráfico 75 pode ser interessante para visualizar os pontos fortes e fracos de cada um dos cenários em relação à geração de fluxos hidrológicos e do carbono, já que determinadas situações podem reduzir determinado serviço, porém pode aumentar a prestação de um outro. Além disso o formato dos polígonos pode ser um parâmetro para avaliar a proximidade ou afastamento de determinada ocupação e uso do solo em relação a uma condição ideal, como é o caso do hexágono externo que representa o cenário Preservado.

## **7. DISCUSSÃO**

### *7.1 Aplicação em políticas públicas*

O modelo desenvolvido nessa tese pretende dar suporte a políticas públicas que visem a recuperação dos serviços hidrológicos e do carbono gerados por ecossistemas e agroecossistemas na escala espacial de uma bacia hidrográfica. Os resultados de fluxos monetários obtidos através da comparação de diferentes cenários de uso e ocupação do solo revelam a possibilidade de visualizar seus impactos através de duas perspectivas diferentes. A primeira é da utilização dos *trade offs* calculados nos cenários (e apresentados no Gráfico 74) para dar suporte a mecanismos de penalização para aqueles produtores rurais que não apresentem áreas de Reserva Legal ou Áreas de Preservação Permanente (APP's) em conformidade com o zoneamento estabelecido para sua propriedade de acordo com o Código Florestal, principalmente em relação ao bioma Cerrado. No entanto, sabe-se que tal mecanismo de comando e controle por meio da

punição tem se mostrado pouco eficiente para a regeneração das áreas de mata nativa em bacias hidrográficas ao longo das últimas décadas, visto que, em grande parte dos estabelecimentos rurais, os custos de recuperação florestal da Reserva Legal ou de APP são elevados e tornam-se inviáveis para o pequeno produtor rural, mesmo que sob intervenções tais como os Termos de Ajuste de Conduta (TAC).

O segundo viés de utilização dos resultados obtidos na tese estaria dentro da lógica de alguns programas de Pagamentos por Serviços Ambientais (PSA), por meio do qual o produtor é compensado por sua iniciativa de regeneração de áreas de mata nativa ou até mesmo pela implementação de um modelo de produção agropecuário que utilize práticas de conservação do solo ou sistemas baseados em princípios da agroecologia, como os SAF's. Dentro dessa perspectiva, o produtor rural que apresentasse um modelo de produção com baixa capacidade de produção de serviços ambientais, tais como a agricultura convencional e a pastagem sem manejo, poderia ser compensado financeiramente caso migrasse para um modelo com maior capacidade de geração de serviços ambientais, dando preferência ao cenários maiores ganhos do Gráfico 74a.

Um detalhe importante quando se trata de Pagamentos por Serviços Ambientais, são os valores estipulados para a compensação dos agentes produtores de serviços ambientais. No caso de um dos mais bem-sucedidos PSA do Brasil, o programa Conservador das Águas, estabelecido através de um arranjo institucional entre a Prefeitura de Extrema-MG, a Organização Não Governamental chamada *The Nature Conservancy (TNC)*, e a Agência Nacional das Águas (ANA), os valores pagos aos pecuaristas são estabelecidos de acordo com o custo de oportunidade da atividade de produção de leite na região. Os valores atuais para compensação pela produção de água em propriedades com nascentes na região da Bacia do Rio das Posses estão em torno de R\$ 200,00 por hectare por ano. No entanto, tal programa pretende também compensar futuramente os produtores rurais devido ao serviço de sequestro de carbono em áreas onde há regeneração florestal para proteção de nascentes e áreas de recarga na bacia. Nesse caso, o valor do serviço associado à fixação de carbono na biomassa da floresta em crescimento poderia até duplicar o valor atualmente pago ao produtor rural, facilitando ainda mais a tomada de decisão sobre "perder" parte de sua propriedade para a restauração do ecossistema e a geração de serviços ambientais.

No caso da Bacia do Taquarizinho, não existe nenhum programa de Pagamento por Serviços Ambientais estabelecido visando a recuperação dos serviços ecossistêmicos

hidrológicos e do carbono. No entanto, sabe-se que, caso existisse, o programa poderia ser mais bem-sucedido para produtores associados ao uso do solo por áreas de pastagens sem manejo, dada a baixa rentabilidade e o consequente baixo custo de oportunidade dessa atividade na região. Dessa forma, a tomada de decisão do produtor rural em optar pela regeneração de parte da área poderia ser facilitada devido a compensação financeira do PSA poder ultrapassar o custo de oportunidade de sua atividade econômica. No caso da produção de soja, milho, algodão e outros grãos, o custo de oportunidade é mais elevado. De acordo com o Gráfico 74a, caso um hectare de agricultura convencional fosse convertido em área de floresta preservada, a compensação deveria ser de cerca de USD 173 ha<sup>-1</sup>ano<sup>-1</sup> ou R\$ 346 ha<sup>-1</sup>ano<sup>-1</sup> devido somente à diferença de prestação de serviços hidrológicos e de carbono por tipo de ocupação<sup>35</sup>. De acordo com estudo sobre rentabilidade da soja realizado pela Embrapa (DALL'AGNOL, LAZAROTTO e HIRAKURI, 2010), o custo de oportunidade da soja refere-se principalmente aos custos do capital e da terra, que estão associados a opção do agricultor em deixar de investir no mercado de capitais e de arrendar sua terra para outro produtor. O valor de tal custo de oportunidade variava entre R\$ 95 a R\$ 368 ha<sup>-1</sup>ano<sup>-1</sup> dependendo da região do Brasil em 2010. Portanto, caso houvesse um programa de PSA com fundos suficientes para remunerar a tomada de decisão do produtor rural em deixar de produzir para restaurar uma área adicional de Cerrado (além daquela referente à Reserva Legal ou APP), o valor calculado nesse trabalho poderia ser utilizado nos casos em que o mesmo superasse a média do custo de oportunidade da produção de soja para uma dada região com bioma Cerrado.

No entanto, a proposta do presente trabalho não é de elaborar um esquema de Pagamentos por Serviços Ambientais para a Bacia do Taquarizinho. Os PSA são apenas uma parte de uma vasta gama de instrumentos voluntários que propõem a regeneração dos ecossistemas locais e de seus serviços na escala de bacias hidrográficas. A modelagem local dos fluxos e o exercício de simulação deste trabalho tem como foco a visualização clara de algumas das desvantagens de converter uma região preservada em uma área de produção agropecuária. Como simulado no cenário *business as usual*, caso a Bacia do Taquarizinho mantenha sua tendência passada de mudança de uso do solo para o ano 2026, o sistema simulado estaria em uma situação de perda dos estoques de

---

<sup>35</sup> Valor de EM\$ 173 ha<sup>-1</sup>ano<sup>-1</sup> foi obtido ao considerar a diferença entre os valores de serviços hidrológicos e do carbono para agricultura convencional e Cerrado do cenário Preservado: EM\$ 74,00 e EM\$ 247,00 ha<sup>-1</sup>ano<sup>-1</sup>, respectivamente. A taxa cambial adotada de USD 1,00 = R\$ 2,00, refere-se ao valor médio aproximado do dólar comercial em julho de 2012.

carbono do solo, o que poderia implicar em perda da fertilidade do solo para a produção de alimentos e energia, ou na necessidade de mais investimentos para manter a produtividade na região.

Obviamente, a agricultura e pecuária são setores que trazem benefícios econômicos importantes não só para a balança comercial brasileira, como também são imprescindíveis para a geração de empregos no campo e para a segurança alimentar e energética do país. Tais benefícios não foram calculados no presente trabalho, no entanto, pôde-se perceber na construção de cenários que seria possível produzir alimentos e energia através de sistemas menos impactantes nos serviços do ecossistema, tais como os sistemas agroflorestais (SAF), onde os ciclos da água e do carbono se aproximariam mais de um ecossistema preservado, contribuindo para a sustentabilidade da agricultura e da pecuária na região do Cerrado.

### *7.2 Do modelo hidrocarbono (hipóteses I e II)*

A construção do modelo hidro-carbono e dos cenários confirmam as duas primeiras hipóteses estabelecidas no início do trabalho. Apesar de simplificar a complexa realidade existente nos processos hidrológicos e de produção de biomassa em um ecossistema, o modelo construído apresentou de maneira adequada os processos selecionados pelo modelador em uma escala espacial de bacia hidrográfica, fato que foi comprovado através da validação dos resultados da calibração do cenário 2006-2008 com os valores observados na Bacia do Taquarizinho e disponibilizados na base de dados hidrológicos e de carbono (ANA, 2011; ORNL DACC, 2011).

Existiram uma série de pontos positivos apresentados pelo modelo desenvolvido, como a capacidade de visualizar a dinâmica dos processos hidrológicos e do carbono em base diária e a possibilidade de compreender como a sazonalidade da pluviosidade na Bacia do Taquarizinho afeta não só os fluxos de massa como também a dinâmica da energia e dos valores monetários associados à geração de serviços ecossistêmicos pela bacia.

Outra vantagem foi a abertura do modelo para a reconstituição de uma condição passada (cenário Preservado), o que possibilitou criar uma visão aproximada de como seria o comportamento primitivo dos ciclos da água e do carbono na Bacia do Taquarizinho, quando estava em um estado totalmente preservado com áreas de

Cerrado. Em relação aos cenários projetados para o futuro, observou-se a existência de uma hierarquia de geração de serviços ecossistêmicos, onde a máxima geração de serviços hidrológicos e do carbono na bacia hidrográfica é atribuída ao cenário Preservado. A medida em que o Cerrado dá lugar aos sistemas de produção agropecuários, há uma perda automática nessa capacidade, devido à interferência da mudança do uso solo sobre os ciclos biogeoquímicos locais. Dentro de tal hierarquia de modelos de produção de alimentos e energia, aquele apresentou o melhor desempenho de produção de água e carbono foi um sistema agroflorestal (SAF), seguido da Pastagem com manejo, Agricultura com Plantio Direto aliado à práticas conservacionistas do solo, Pastagem sem manejo, e Agricultura Convencional sem práticas conservacionistas

Como já dito, o trabalho de modelagem e simulação de processos biogeoquímicos é uma simplificação da realidade, fato que é percebido em algumas limitações do modelo hidrocarbono. Uma das principais fragilidades refere-se à simplificação em relação à escala espacial adotada. Naturalmente, o modelo aqui desenvolvido não pode ser extrapolado para escalas menores, de maneira a simular, por exemplo, as diferentes dinâmicas de produção de água e carbono por uma bacia ocupada por distintas variedades de soja, já que o modelo não seria sensível a tal modificação de cenário tecnológico, que envolveria o metabolismo específico de cada uma das variedades. Outra limitação do modelo é a agregação espacial dos dados. Apesar de considerar as características de ocupação do solo e de relevo das 33 sub-bacias (equivalentes a 66 polígonos diferentes) nas entradas do modelo hidrocarbono, as saídas do mesmo referem-se à bacia hidrográfica como uma totalidade, calculando o comportamento médio dos fluxos do sistema e não de seus polígonos.

Outra limitação deve-se à baixa pluviosidade média anual na bacia, que gera um baixo valor de pluviosidade diária média na calibração (cerca de 1500 mm por ano ou 3,8 mm dia<sup>-1</sup>), tornando o modelo bastante sensível à pluviosidade diária maior que 60 mm, fazendo com que houvesse desestabilização dos cálculos da planilha a ponto de inviabilizar a visualização dos resultados da simulação. À medida em que foram construídos cenários com menor porte de vegetação, tais como agricultura convencional e pastagem sem manejo, a tolerância aos eventos de alta pluviosidade diária foram ainda menores. Nesse caso, foi necessário diminuir o evento observado de chuva até o limite do cenário e alocar o restante da pluviosidade nos dias seguintes, a fim de ser mantido o valor de pluviosidade total em todos os cenários.

Apesar das limitações do modelo hidrocarbono, pode-se corroborar a hipótese de que ele, mesmo que baseado em uma interpretação simplificada da realidade da Bacia do Taquarizinho, é capaz de reproduzir a dinâmica do ciclo da água e do carbono a partir de poucos dados de entrada, sendo o principal deles a pluviosidade diária. Isso faz com que o presente trabalho seja uma contribuição importante por poder ser facilmente aplicado em políticas públicas ligadas ao tema de valoração ambiental e mudança de uso da terra.

### *7.3 Dos resultados da modelagem e simulação (hipótese III)*

Os resultados da modelagem e simulação revelam que todos os seis cenários apresentam valores finais positivos para a geração de serviços ecossistêmicos. No entanto, esse número positivo não significa que todos os cenários são ambientalmente sustentáveis. Deve-se salientar que, nos cenários *business as usual*, pastagem sem manejo, e agricultura convencional, observou-se a depleção dos estoques de carbono do solo, o que levaria à perda de fertilidade e da capacidade de produção de tais sistemas em um longo prazo de tempo.

Em geral, os resultados de acúmulo de carbono para os cenários simulados pelo modelo estão de acordo com a compilação de estudos sobre mudança de uso do solo e sobre o Cerrado brasileiro, realizada por Batle-Bayer, Batjes e Bindraban (2010). De acordo com essa revisão, pastagens degradadas seriam emissoras de carbono, com uma média de  $-0,28 \text{ tC ha}^{-1}\text{ano}^{-1}$ ; no caso de pastagens sob manejo irrigado e com aplicação de fertilizantes e introdução de leguminosas, as taxas de sequestro no solo variam de  $0,11$  a  $3,04 \text{ tC ha}^{-1}\text{ano}^{-1}$ , com uma média próxima a  $0,54 \text{ tC ha}^{-1}\text{ano}^{-1}$ . No caso da agricultura convencional de monocultura de soja, a faixa de captura varia entre  $-0,3$  a  $+0,1 \text{ tC ha}^{-1}\text{ano}^{-1}$ , predominando uma emissão média de  $-0,10 \text{ tC ha}^{-1}\text{ano}^{-1}$ . Já para a agricultura de rotação de culturas com plantio direto, a revisão da literatura mostrou que as taxas de sequestro variam entre  $0,13$  a  $1,91 \text{ tC ha}^{-1}\text{ano}^{-1}$ . Esses valores e, principalmente, as tendências quanto ao sequestro ou emissão para cada sistema estão bastante próximas dos valores calculados no presente trabalho.

Em relação à dinâmica emergética, observou-se que o método *split* (ou distribuição) foi a melhor das abordagens de valoração se comparada à *co-produtos e equal energy* (igualdade de energia), devido à conservação da energia total de entrada e devido à possibilidade de atribuir diferentes valores de energia para cada um dos serviços ecossistêmicos relacionados ao ciclo da água e do carbono. Apesar dos valores

de energia por massa variarem ao longo dos dias, considerou-se que a média para todos os cenários seria de EM\$ 0,01 m<sup>-3</sup> para água e de EM\$ 47,12 para cada tonelada de carbono, baseado no cenário Preservado.

Comparando os valores obtidos nessa tese com estudo anterior de Watanabe e Ortega (2011), percebe-se que existem diferenças em relação aos valores médios do metro cúbico da água estocada e do carbono fixado pela biomassa. No presente trabalho, realizado na escala de uma bacia hidrográfica, o valor médio da água foi de EM\$ 0,01 m<sup>-3</sup>, ao passo que o outro estudo, realizado em escala global, fornecia valores de água variando entre EM\$ 0,13 e EM\$ 4,32 m<sup>-3</sup>. No estudo de Watanabe (2008), o valor da água foi mensurado a partir do método de co-produtos, fazendo com que toda a energia das entradas da Biosfera global fosse alocada no fluxo de água. Além disso, foi utilizado um fator de conversão energia-dólar menor, de 3,33 E12 sej USD<sup>-1</sup>, que contribuiu ainda mais para essa diferença observada. Portanto, pode-se afirmar que o resultado obtido nessa tese (EM\$ 0,01 m<sup>-3</sup>) apresenta maior grau de refinamento em relação à valoração realizada anteriormente. Além disso, trata-se de um valor mais próximo a outros estudos de avaliação emergética tais como Buenfil (2001), que encontrou valores na faixa de EM\$ 0,01 a 0,75 m<sup>-3</sup> e Odum (1996) para o intervalo de EM\$ 0,02 a EM\$ 0,12 m<sup>-3</sup> em bacia hidrográfica dos Estados Unidos.

Pode-se também comparar os valores da presente tese com aqueles utilizados em mecanismos de inserção de parte do valor da água nos mercados. De acordo com relatórios da Agência Nacional de Águas (ANA), os atuais mecanismos de cobrança pelo uso da água já implantados nas bacias hidrográficas do Paraíba do Sul e Piracicaba-Capivari-Jundiaí (PCJ), estipulam valores entre R\$ 0,01 a 0,02 por metro cúbico de água, dependendo do tipo de uso realizado pelo consumidor, que pode ser de captação de água bruta, consumo de água bruta e transposição de bacia (ANA, 2009). Essa faixa de valores não está associada a um imposto, mas foi estipulada para gerar recursos financeiros para investimentos na recuperação e preservação dos mananciais da bacia, além de estimular o uso racional dos recursos hídricos. Como se pode observar, tal magnitude de valores é bastante próxima ao valor médio encontrado nesse trabalho (EM\$ 0,01 m<sup>-3</sup> no período 2006-2008 e EM\$ 0,02 para 1995-1996, equivalentes a R\$ 0,02 m<sup>-3</sup> e R\$ 0,04 m<sup>-3</sup>), respectivamente. Portanto, pode-se afirmar que as magnitudes de valor estabelecidas em tais programas de cobrança pelo uso da água são inferiores aos cálculos da metodologia emergética em escala local, porém, são valores convergentes.

Em relação ao valor dos serviços de carbono, observou-se também diferenças entre os resultados da tese e de cálculo anterior de Watanabe e Ortega (2011). A limitação de abordagem de valoração através por co-produtos foi a principal razão pela qual foram obtidos valores superiores não só para a água como também para os valores de carbono. Enquanto no presente trabalho o valor médio obtido foi de EM\$ 47,12 tC<sup>-1</sup>, o valor em escala global obtido em Watanabe e Ortega (2011) foi pouco superior a EM\$ 110 tC<sup>-1</sup>, indicando que a valoração emergética é influenciada pela diferença entre escala espacial do sistema estudado e abordagem utilizada para cálculo. Além disso, o valor de conversão de energia para dólar considerado foi o global, de 1,11 E12 sej USD<sup>-1</sup>, o que gera diferenças maiores entre os valores .

Convertendo o valor de sequestro de carbono encontrado nessa tese, calcula-se<sup>36</sup> que o valor de EM\$ 47,12 tC<sup>-1</sup> é equivalente a EM\$ 12,85 por tCO<sub>2</sub>. Tomando como ponto de referência os valores praticados mercado internacional do carbono estabelecidos na publicação *States and Trends of the Carbon Market 2011* (World Bank, 2011), considera-se que o valor gerado na tese está em convergência com a variação de USD 1,50 a 16 por tCO<sub>2-eq</sub> em países da Europa e América do Norte, que apresentam um valor médio em torno de USD 9,50 por tCO<sub>2-eq</sub>, dependendo do tipo de setor produtivo envolvido e do instrumento de comercialização adotado, tais como as Permissões da União Europeia (EUAs, em inglês) e as Reduções Certificadas de Emissão (CERs), que tem alcance internacional.

Em relação aos serviços ecossistêmicos calculados na tese para o Cerrado, os cálculos da tese revelaram um valor médio por área de EM\$ 247 ha<sup>-1</sup>ano<sup>-1</sup>, considerando os aspectos de produção de água e de sequestro de carbono. Esse valor é menor que aquele calculado em um estudo anterior de valoração emergética para uma Savana na Venezuela, cujo valor total foi estimado EM\$ 470 ha<sup>-1</sup>ano<sup>-1</sup>, de acordo com Prado-Jatar e Brown (1997). Em relação à valoração de savanas em escala global através de abordagens da economia clássica, Costanza et al. (1997) estimaram que seu valor estaria em torno de USD 232 ha<sup>-1</sup>ano<sup>-1</sup>, que representa bastante proximidade ao valor calculado nesse trabalho. É necessário ressaltar que o valor está condicionado à baixa pluviosidade Bacia do Taquarizinho, de cerca de 1400 mm por ano. Caso estudos em outras áreas de Cerrado lidem com locais com pluviosidade superior, esse valor tenderá a aumentar

---

<sup>36</sup> Considerando a divisão da massa molar do carbono (12g/mol) pela massa molar do CO<sub>2</sub> (44g/mol), tem-se a relação de 27,27%, que é multiplicada pelo valor de EM\$ 47,12 / tC, obtendo-se EM\$12,85/t CO<sub>2</sub>.

consideravelmente. Além disso, o presente exercício de valoração considerou apenas os serviços hidrológicos e do carbono, e inúmeros outros serviços não foram incluídos; logo, o valor aqui calculado de EM\$ 247 ha<sup>-1</sup>ano<sup>-1</sup> para áreas de Cerrado reflete apenas parte do valor dos serviços desse ecossistema, podendo ser incluídos futuramente os valores vinculados a outros ciclos biogeoquímicos como o do nitrogênio, fósforo, etc.

## **8. CONCLUSÃO**

A construção do modelo hidrocarbono mostrou que a ferramenta da modelagem e simulação é um instrumento útil para a representação de parte da complexidade da dinâmica existente nos ciclos biogeoquímicos de ecossistemas e de áreas rurais ocupadas por agricultura e pastagens. Além disso, a proposta de cálculo dos valores monetários para os serviços hidrológicos e do carbono baseados na abordagem emergética mostra que é possível realizar a valoração ambiental através de um ponto de vista mais "ecocêntrico", sem a necessidade de se recorrer às abordagens da economia neoclássica onde o referencial da valoração é a percepção humana de utilidade ou um mercado previamente estabelecido. Observou-se que os resultados baseados na metodologia emergética, tanto para a tonelada do carbono quanto para o metro cúbico da água, apresentaram magnitudes superiores, porém próximas aos preços estipulados em mercados existentes para o carbono e para a água, tanto no Brasil quanto no âmbito internacional. Portanto, afirma-se que os valores calculados nesse trabalho oferecem valores iniciais para utilização em políticas públicas ou quaisquer outros mecanismos de compensação ou punição envolvendo processos de mudança de uso e ocupação do solo em áreas com Cerrado, pois geram valores compatíveis (brandamente superiores) quando comparados com os preços de mercado e são obtidos através de uma visão mais ecocêntrica de valoração ambiental.

A simulação utilizando diferentes cenários reproduziu as principais situações de uso e ocupação do solo para a Bacia do Taquarizinho. Pode-se observar que houve uma hierarquia em termos de geração de serviços hidrológicos e do carbono, onde a situação ideal foi observada para o cenário Preservado, que buscou reproduzir as condições primitivas da bacia quando era ocupada somente pelo Cerrado. Nesse caso, o valor médio associado ao total de serviços hidrológicos e do carbono alcançou o valor médio de EM\$ 247,00 ha<sup>-1</sup>ano<sup>-1</sup> para o Cerrado considerando a pluviosidade observada entre os anos de 2006 e 2008. Adiante, observou-se que toda e qualquer modificação na cobertura vegetal da bacia, principalmente para dar lugar aos sistemas de agricultura e pastagens,

ocasiona uma redução no potencial de geração de serviços quando comparada ao cenário Preservado. Nesse contexto, verificou-se que o cenário de Agrofloresta (SAF) foi aquele com menor perda associada aos serviços do carbono e da água (valor total de EM\$ 204 ha<sup>-1</sup>ano<sup>-1</sup>), fator associado ao maior porte da vegetação na bacia quando há maior presença de áreas de floresta.

Em relação aos outros cenários, o modelo hidrocarbono procurou elucidar os diferentes impactos associados aos tipos de manejo característicos em áreas típicas de agricultura e pastagens. Dentro da hierarquia de geração de serviços ambientais, o sistema denominado Pastagem com manejo foi aquele que apresentou o terceiro maior potencial de produção de água e carbono (EM\$ 180 ha<sup>-1</sup>ano<sup>-1</sup>), pois foi calibrado para mostrar de maneira simplificada uma situação em que a ocupação animal não fosse capaz de consumir toda a produção diária bruta em áreas de pasto, fazendo com que houvesse sempre um superávit em relação à produção de biomassa vegetal. Essa consideração fez com que o sistema atuasse como um sequestrador de carbono e com um nível razoável de produção de água. Em seguida, o cenário chamado de Agricultura com Plantio direto (EM\$ 159 ha<sup>-1</sup>ano<sup>-1</sup>), refletiu as práticas de conservação de solo tais como construção de terraços e bacias de retenção, além da rotação de culturas e deposição dos resíduos da colheita sobre o solo. E, por fim, foram simulados os cenários de pastagens sem manejo (EM\$ 104 ha<sup>-1</sup>ano<sup>-1</sup>) de agricultura convencional (EM\$ 75 ha<sup>-1</sup>ano<sup>-1</sup>), que procuraram refletir a ausência de práticas de conservação de solo e a retirada total do carbono acumulado através dos processos de colheita e de consumo animal. Essas considerações fizeram com que o desempenho desses sistemas quanto à produção de serviços hidrológicos e do carbono fossem os menores possíveis dentre todos os cenários criados.

Como mostrou o Gráfico 75, os cenários que mais se aproximaram do perfil de geração de serviços do Cerrado (cenário Preservado) foram o Agroflorestal (SAF) e Pastagens com manejo, com valores bastante próximos em termos evapotranspiração, descarga pelo canal e recarga de aquífero. Em relação aos serviços de sequestro de carbono, esses mesmos cenários apresentaram um maior distanciamento em relação ao padrão apresentado pelo Cerrado, porém não superaram o distanciamento apresentado pelos cenários agricultura com plantio direto, pastagem sem manejo e, principalmente, da agricultura convencional. Esse último cenário apresentou o perfil de geração de serviços hidrológicos (com destaque para a descarga pelo canal) e de carbono (em especial o

sequestro de carbono no solo) mais distante do padrão estabelecido em um ecossistema preservado.

Apesar do modelo hidrocarbono ter sido utilizado para a realidade da Bacia do Taquarizinho, estudos futuros poderiam ser realizados utilizando o mesmo modelo, modificando a região sob estudo, a fim de se compreender a dinâmica da mudança de uso do solo em bacias hidrográficas ocupadas por outros biomas. Ou ainda, um caminho interessante seria aprimorar o modelo hidrocarbono, não apenas adicionando mais variáveis como também acoplando a dinâmica de outros ciclos de nutrientes, tais como o nitrogênio, que interfere na dinâmica de produção e decomposição de biomassa, além de estar associado às mudanças climáticas devido a sua presença em gases de efeito estufa.

É importante ressaltar que o exercício de valoração aqui realizada não reflete a totalidade dos serviços ecossistêmicos prestados pelos sistemas avaliados. A inclusão dos aspectos relacionados à qualidade da água, à de contaminação do solo e outras emissões para a atmosfera poderiam complementar a avaliação realizada nessa tese, revelando mais benefícios ou prejuízos relacionadas a cada um dos cenários. Além disso, a inclusão da relevância da biodiversidade para a geração de serviços ecossistêmicos deveria ser abordada com mais detalhes em outros exercícios de modelagem dos serviços gerados por diferentes situações de uso e ocupação do solo.

## 9. REFERÊNCIAS

ADUAN, R.E.; KLINK, C.A., DAVIDSON, E.A. Effects of land use change and tree coverage decrease in key aspects of the carbon budget of the Brazilian Cerrado Savanna. In: 2 Conferência Científica Internacional do LBA, 2., 2002, Manaus, Manaus:LBA, 2002.

AGÊNCIA NACIONAL DE ÁGUAS (ANA). Sistema Nacional de Informações sobre Recursos Hídricos. 2011. Disponível em < <http://www.ana.gov.br/portalsnirh/>>. Acesso em: 3 jan. 2011.

AGÊNCIA NACIONAL DE ÁGUAS (ANA). Implementação de Práticas de Gerenciamento Integrado de Bacia Hidrográfica para o Pantanal e Bacia do Alto Paraguai ANA/GEF/PNUMA/OEA: Programa de Ações Estratégicas para o Gerenciamento Integrado do Pantanal e Bacia do Alto Paraguai: Síntese Executiva / Agência Nacional de Águas, Brasília: TDA Desenho & Arte Ltda., 2004. 64p.

AGÊNCIA NACIONAL DE ÁGUAS (ANA). Relatório 2009: Cobrança pelo Uso de Recursos Hídricos nas Bacias Hidrográficas dos rios Piracicaba, Capivari e Jundiá. 2009. Disponível: [www.ana.gov.br/cobrancauso/\\_docs/Relat\\_de\\_Cobranca\\_PCJ\\_2009.pdf](http://www.ana.gov.br/cobrancauso/_docs/Relat_de_Cobranca_PCJ_2009.pdf)>. Acesso em: 16 abr. 2012.

ALTIERI, M.A. The ecological role of biodiversity in agroecosystems. *Agriculture, Ecosystems and Environment* v.74, p.19–31, 1999.

BACCHI, C.G.V. Análise de modelos matemáticos na estimativa da produção de sedimentos em bacias com o auxílio de um SIG. 2007. 105 f. Dissertação (Mestrado em Tecnologias Ambientais).- Centro de Ciências Exatas e Tecnológicas, Universidade Federal do Mato Grosso do Sul, Campo Grande, 2007.

BARSANTI, P.; DISPERATI, L.; MARRI, P.; MIONE, A. Soil erosion evaluation and multi-temporal analysis in two Brazilian basins. In: 2<sup>nd</sup> International SWAT Conference, 2., 2003, Bari, Proceedings, 2003. Disponível em <<http://www.brc.tamus.edu/swat/2ndswatconf/2ndswatconfproceeding.pdf>>. Acesso em 3 fev. 2011.

BATLE-BAYER L.; BATJES, N.H.; BINDRABAN, P.S. Changes in organic carbon stocks upon land use conversion in the Brazilian Cerrado: A review. *Agriculture, Ecosystems and Environment*, v.137, n.1-2, p.47-58, 2010.

BEUS, C.E.; DUNLAP, R.E. Conventional versus alternative agriculture: the paradigmatic roots of the debate. *Rural Sociology*, v.55, n.4, p.590-616, 1990.

BRAZ, S.P.; URQUIAGA, S.; ALVES, B.J.R.; BODDEY, R.M. Degradação de pastagens, matéria orgânica do solo e a recuperação do potencial produtivo em sistemas de baixo “input” tecnológico na região dos Cerrados. Seropédica-RJ: Embrapa Agrobiologia, 2004. 8p.

BROWN, M.T.; ULGIATI, S. Updated evaluation of exergy and emergy driving the geobiosphere: a review and refinement of the emergy baseline. *Ecological Modelling*, v. 221, p. 2501–2508, 2010.

BUENFIL, A.A. Emergy evaluation of water. 2001. Tese (Doctor of Philosophy) Environmental Engineering Sciences, University of Florida, Gainesville, 2001.

BUSTAMANTE, M.M.C.; CORBEELS, M.; SCOPEL, E.; ROSCOE, R.,. Soil carbon storage and sequestration potential in the Cerrado Region of Brazil. In: LAL, R., CERRI, C.C., BERNOUX, M., ETCHEVERS, J., CERRI, E. (Eds.). Carbon Sequestration in Soils of Latin America. Binghamton: The Haworth Press, 2006. Cap.14, p. 285–299.

CARDOSO, A.N.; SAMINÉZ, T.C.; VARGAS, M.A. Fluxo de gases-traço de efeito estufa na interface solo/atmosfera em solos de Cerrado. Planaltina-DF: Embrapa Cerrados – Boletim de Pesquisa e Desenvolvimento, n.17, 2001. 23p.

CAVALETT, O. Análise do Ciclo de Vida da Soja. 2008. 221p. Tese (Doutorado em Engenharia de Alimentos), Faculdade de Engenharia de Alimentos, Universidade Estadual de Campinas, 2008.

CHAVES, M.A. Perspectivas de estimativa dos balanços anuais hídrico e de carbono em ecossistemas florestais à partir de um modelo biogeoquímico florestal associado a técnicas de sensoriamento orbital. 1992. 165 p. Dissertação (Mestrado em Sensoriamento Remoto), Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais, São José dos Campos, 1992.

CIANCIARUSO, M.V.; PIRES, J.S.R.; DELITTI, W.B.C.; SILVA, E.F.L.P. Produção de serapilheira e decomposição do material foliar em um cerradão na Estação Ecológica de Jataí, município de Luiz Antônio, SP, Brasil. Acta bot. Bras., v.20, n.1, p.49-59, 2006.

COSTANZA, R., D'ARGE, R., DE GROOT, R., FARBER, S., GRASSO, M., HANNON, B., LIMBURG, K., NAEEM, S., O'NEILL, R.V., PARUELO, J.; RASKIN, R.G.; SUTTON, P.; VAN DER BELT, M. The value of world's ecosystem services and natural capital. Nature, v. 387 p.253-260, 1997.

COX, P. M.; HUNTINGFORD, C.; HARDING, R. J. A canopy conductance and photosynthesis model for use in a GCM land surface scheme. Journal of Hydrology, v. 213, n. 1-4, p. 79-94, 1998.

DALL'AGNOL, A.; LAZAROTTO, J.J.; HIRAKURI, M.H. Desenvolvimento, mercado e rentabilidade da soja brasileira. Londrina-PR: Embrapa Soja – Circular Técnica, n.74, 2010. 20p.

DE PURY, D. G. G.; FARQUHAR, G. D. Simple scaling of photosynthesis from leaves to canopies without the errors of big-leaf models. Plant, Cell and Environment, v. 20, n. 5, p. 537-557, 1997.

DIAS, J.D. Composição isotópica e fluxos de CO<sub>2</sub> em área de Cerrado (Parque Estadual de Vassununga, SP). 2009. Tese (Doutorado em Ciências). Centro de Energia Nuclear na Agricultura, Universidade de São Paulo, São Paulo, 2009.

EMPRESA BRASILEIRA DE PESQUISA AGROPECUÁRIA (EMBRAPA). Mapeamento da bacia do Taquarizinho. Comunicação pessoal, EMBRAPA CNPTIA, 2011.

FEARNSIDE, P.M. Efeito estufa: A contribuição do desmatamento na Amazônia Brasileira. Tradução de: Greenhouse Gas Contributions from Deforestation in Brazilian Amazonia, pp. 92-105. In: LEVINE, J.S. (comp.). Global Biomass Burning: Atmospheric, Climatic, and Biospheric Implications. Cambridge, Massachusetts, EUA: MIT Press, 1996, 640p.

FERREIRA, E.A.B.; RESCK, D.V.S.; GOMES, A.C. Medidas do fluxo de CO<sub>2</sub> do solo pelos métodos da absorção alcalina e analisador de gás infravermelho em diferentes sistemas de manejo no Cerrado. Planaltina-DF: Embrapa Cerrados – Boletim de Pesquisa e Desenvolvimento, n.151, 2005. 28p.

FLORES, A.M.F. Análise e estimativa do transporte de sedimentos em suspensão durante eventos chuvosos. 2007. Dissertação (Mestrado em Tecnologias Ambientais), Universidade Federal de Mato Grosso do Sul, Campo Grande, 2007.

GASTMANS, D.; CHANG, H.K.; HUTCHEON, I. Stable isotopes (<sup>2</sup>H, <sup>18</sup>O and <sup>13</sup>C) in groundwaters from the northwestern portion of the Guarani Aquifer System (Brazil). Hydrogeology Journal, v.18, p.1497-1513, 2010.

GIRARD, P.; DA SILVA, C.J.; ABDO, M. River-groundwater interactions in the Brazilian Pantanal. The case of the Cuiabá River. Journal of Hydrology, v.283, p. 57-66, 2003.

GOEDERT, W.J., Solos dos Cerrados: tecnologias e estratégias de manejo. In: GOEDERT, W.J. (ed.). São Paulo: Nobel; Brasília: EMBRAPA, Centro de Pesquisa Agropecuária dos Cerrados, 422p, 1985.

GORDON, L.J.; FINLAYSON, C.M.; FALKENMARK, M. Managing water in agriculture for food production and other ecosystem services. Agricultural Water Management, v. 97, n.4, p. 512-519, 2010.

GOSELINK, J.G.; ODUM, E.P.; POPE, R.M. The Value of the Tidal Marsh. Center for Wetland Resources, Louisiana State University, Baton Rouge, 30p., 1974.

HAU, J.L.; BAKSHI, B.R. Promise and problems of emergy analysis. Ecological Modelling, v.178, p. 215-225, 2004.

IDE, W.R.; RIBEIRO, M.L. Calibração do modelo de qualidade de água Qual-UFMG para o Rio Taquarizinho em período de estiagem. Relatório (Iniciação Científica) Faculdade de Engenharia Ambiental, Universidade Federal do Mato Grosso do Sul, Campo Grande, 2009.

INSTITUTO NACIONAL DE METEOROLOGIA (INMET). Balanço hídrico climático. 2010. Disponível em: <[www.inmet.gov.br/agrometeorologia/balanco\\_hidrico\\_climatico](http://www.inmet.gov.br/agrometeorologia/balanco_hidrico_climatico)>. Acesso em: 31 mar. 2011.

INTERGOVERNMENTAL PANEL ON CLIMATE CHANGE (IPCC). IPCC Guidelines for National Greenhouse Gas Inventories, volume 4: AFOLU. 2006. Disponível em: <<http://www.ipcc-nggip.iges.or.jp/public/2006gl/vol4.html>>. Acesso em 21 jan. 2011.

JIM, C.Y.; CHEN, W.Y. Ecosystem services and valuation of urban forests in China. Cities, Amsterdam, v.26:,p. 187-194, 2009.

LAPOLA, D.M. Consequências das mudanças climáticas globais nos biomas da América do Sul: um modelo de vegetação potencial incluindo o ciclo de carbono. 2007. Dissertação (Mestrado em Meteorologia), Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais, São José dos Campos, 2007, 183p.

MAGRIN, G.; GARCIA, C.G.; CHOQUE, D.C.; GIMÉNEZ, J.C.; MORENO, A.R.; NAGY, G.J.; NOBRE, C.; VILLAMIZAR, A. Latin America. Climate Change 2007: Impacts, Adaptation and Vulnerability. Contribution of Working group II to the Fourth Assessment

Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change. 2007. In: PARRY, M.L.; CANZIANI, O.F.; PALUTIKOF, J.P.; van der LINDEN, P.J.; HANSON, C.E. (Eds.). Cambridge, UK: Cambridge University Press, p.581-615, 2007. Disponível em: <<http://www.ipcc.ch/pdf/assessment-report/ar4/wg2/ar4-wg2-chapter13.pdf>>. Acesso em 17 nov. 2011.

MANZIONE, R.L. Regionalized spatio-temporal modeling of water table depths in the Brazilian Cerrado. 2007. Tese (Doutorado em Sensoriamento Remoto), Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais, São José dos Campos, 2007, 133p.

MARTÍNEZ, M.L.; PÉREZ-MAQUEO, O.; VÁZQUEZ, G.; CASTILLO-CAMPOS, G.; GARCÍA-FRANCO, J.; MEHLTRETER, K.; EQUIHUA, M.; LANDGRAVE, R. Effects of land use change on biodiversity and ecosystem services in tropical montane cloud forests of Mexico. *Forest Ecology and Management*, v.258, n.9, p.1856-1863, 2009.

MATSON, P.A.; PARTON, W.J.; POWER, A.G.; SWIFT, M.J. Agricultural Intensification and ecosystem properties. *Science* v.277, p.504-509, 1997.

MILLENNIUM ECOSYSTEM ASSESSMENT (MA). Relatório-Síntese da Avaliação Eossistêmica do Milênio, Organização das Nações Unidas. 2005. Disponível em: <<http://www.millenniumassessment.org>>. Acesso em outubro de 2007.

MONTERO, L.L. Carbono em solos de cerrado: efeitos do uso florestal (vegetação nativa de *cerradão*, versus plantios de *Eucalyptus* e *Pinus*). Tese (Doutorado em Ciências), Instituto de Biociências, Universidade de São Paulo, São Paulo, 2008, 130p.

NATIONAL AERONAUTICS AND SPACE OBSERVATION (NASA). Surface meteorology and solar energy. 2011. Disponível em: <<http://eosweb.larc.nasa.gov/sse/>>. Acesso em 22 abr. 2011.

OAK RIDGE NATIONAL LABORATORY DISTRIBUTED ACTIVE ARCHIVE CENTER (ORNL DAAC). MODIS subsetted land products, Collection 5. 2010. Disponível em: <<http://daac.ornl.gov/MODIS/modis.html>> Acesso em: 1 de julho 2011.

ODUM, H.T. *Environmental Accounting: Energy and Decision Making*, 1<sup>st</sup> ed. New York: John Wiley e Sons Inc., 370p., 1996.

ODUM, H.T. An energy hierarchy law for biogeochemical cycles. In: BROWN, M.T.; BRANDT-WILLIAMS, S.; TILLEY, D.R.; ULGIATI, S. (Eds.). *Emergy Synthesis: Theory and Applications of the Emergy Methodology*. Center for Environmental Policy, University of Florida, Gainesville, p. 235–248, 2000.

ODUM, H.T.; ODUM, E.P. The energetic basis for valuation of ecosystem services. *Ecosystems*, v.3, p.21-23,

ODUM, H.T.; ODUM, E.C.; BLISSET, M. Ecology and Economy: “Emergy” Analysis and Public Policy in Texas. Policy Research Project Report #78. Lyndon B. Johnson School of Public Affairs. Austin, The University of Texas, p. 1–178, 1987.

OLIVEIRA, H.A.R. Qualidade da drenagem pluvial rural: Rio Taquarizinho-MS. 2007. Dissertação (Mestrado em Tecnologias Ambientais), Universidade Federal de Mato Grosso do Sul, Campo Grande, 2007, 171p.

OLIVEROS, L.F.C. Emissões de CO<sub>2</sub> do solo sob preparo convencional e plantio direto em Latossolo Vermelho do Rio Grande do Sul. Dissertação (Mestrado em Ciência do Solo), Universidade Federal de Santa Maria, 2008, 80p.

ORTEGA, E.; CAVALETT, O.; BONIFACIO, R.; WATANABE, M.D.B. Brazilian Soybean Production: Energy Analysis with an expanded scope. Bulletin of Science, Technology and Society v.25, p.323-334, 2005.

PARANHOS-FILHO, A. Análise Geo-Ambiental Multitemporal: O estudo de caso da região de Coxim e da bacia do Taquarizinho (MS- Brasil). 2000. Tese (Doutorado em Geologia), Universidade Estadual do Paraná, Curitiba, 2000, 213p.

PARRON, L.M.; BUSTAMANTE, M.M.C.; PRADO, C.L.C. Produção e Composição Química da Serapilheira em um Gradiente Topográfico em Mata de Galeria no Bioma Cerrado. Planaltina-DF: Embrapa Cerrados – Boletim de Pesquisa e Desenvolvimento, n.128, 2004. 23p.

PEREIRA, L.G. Análise multi-escala multi-criterio da sustentabilidade ecológica brasileira. Tese (Doutorado em Engenharia de Alimentos, em andamento). Faculdade de Engenharia de Alimentos, Universidade Estadual de Campinas, 2011.

PEREIRA, R.S.; NETO, A.S.; TUCCI, C.E.M. Princípios da Hidrometria. Instituto de Pesquisas Hidráulicas, Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, 2003, 16p. Disponível em: <<http://www.iph.ufrgs.br/posgrad/disciplinas/hip01/Cap13-Hidrometria.pdf>>. Acesso em 21 fev. de 2011.

POGGIANI, F.; LIMA, W.P.; BALLONI, E.A.; NICOLIELLO, N. Respiração Edáfica em plantações de coníferas e folhosas exóticas em área de Cerrado do Estado de São Paulo. Scientia Florestalis, n.14, p.129-148, 1977.

POWER, A.G. Ecosystem services and agriculture: tradeoffs and synergies. Philosophical Transactions of the Royal Society B, v.365, p.2959-2971, 2010. Disponível em <<http://rstb.royalsocietypublishing.org/content/365/1554/2959.full>>. Acesso em 16 nov. 2011.

PRADO-JATAR, M.A.; BROWN, M.T. Interface Ecosystems with na Oil Spill in a Venezuelan Tropical Savannah. Ecological Engineering, v.8, n.1, p.49-78, 1997.

PRATO, T. Selection and evaluation of projects to conserve ecosystem services. Ecological Modelling, v.203, p.290-296, 2007.

PRETTY, J.N., BRETT, C., GEE, D., HINE, R.E., MASON, C.F., MORISON, J.I.L., RAVEN, H., RAYMENT, M.D., BIJL G. VAN DER. An assessment of the total external costs of UK agriculture. Agricultural Systems, v.65, p.113 –136, 2000.

PRUSKI F.F.; BRANDÃO, V.S.; DA SILVA, D.D. Escoamento Superficial. 2.ed. Viçosa:Editora UFV, 87p., 2004.

RIVERA-LOMBARDI, R. J.Estudo da recorrência de queimadas e permanência de cicatrizes do fogo em áreas selecionadas do cerrado brasileiro, utilizando imagens TM/Landsat. 2003. Dissertação (Mestrado em Sensoriamento Remoto), Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais, São José dos Campos, 2003, 172p.

ROCKSTRÖM, J.; GORDON, L.; FOLKE, C.; FALKENMARK, M.; ENGWALL, M. Linkages among water vapor flows, food production and terrestrial ecosystem services. *Conservation Ecology*, v.3, n.2, p.1-5, 1999.

ROSA, C. M. da; CASTILHOS, R. M. V.; DICK, D. P.; PAULETTO, E. A.; GOMES, A. da S. Teor e qualidade de substâncias húmicas de planossolo sob diferentes sistemas de cultivo. *Ciência Rural*, v. 38, p.1589-1595, 2008.

SANCHES, L.; ANDRADE, N.L.R.; NOGUEIRA, J.S.; BIUDES, M.S.; VOURLITIS, G.L. Índice de área foliar em floresta de transição amazonia cerrado em diferentes métodos de estimativa. *Ciência e Natura*, UFSM, v.30, n.1, p. 57-69, 2008.

SANTOS, M.J.C. Avaliação econômica de quatro modelos agroflorestais em áreas degradadas por pastagens na Amazônia ocidental. 2000. Dissertação (mestrado). Escola Superior de Agricultura Luiz de Queiroz, Piracicaba, 2000, 75p.

SARMENTO, R. O estado da arte da vazão ecológica no Brasil e no Mundo. Organização das Nações Unidas para a Educação (UNESCO)/ANA/CBHSF, PROJETO 704BRA2041. 2007, 38p. Disponível em:  
<[http://www.saofrancisco.cbh.gov.br/\\_docs/estudos/Vazao.Ecologica.Produito.02.Robson.Sarmento.20.06.07.pdf](http://www.saofrancisco.cbh.gov.br/_docs/estudos/Vazao.Ecologica.Produito.02.Robson.Sarmento.20.06.07.pdf)> Acesso em 22 ago. de 2011.

SAVENIJE, H.H.G. New definitions for moisture recycling and the relationship with land-use changes in the Sahel. *Journal of Hydrology*, v.167, p. 57–78, 1995.

SCHALDACH, R.; ALCAMO, J.; KOCH, J.; KÖLKING, C.; LAPOLA, D.M.; SCHÜNGEL, J.; PRIESS, J.A. An integrated approach to modelling land-use change on continental and global scales. *Environmental Modelling and Software*, v.26, n.8, p.1041-1051, 2011.

SCIENCEMAN, D. Energy and Emergy. In: PILLET, G.; MUROTA, T.; LEIMBURGER, R. (Eds.) *Environmental Economics*, 308 p., 1987.

TANNUS, R.N. Funcionalidade e sazonalidade sobre Cerrado e sobre ecótono Floresta-Cerrado: uma investigação com dados micrometeorológicos de energia e CO<sub>2</sub>. 2004. Dissertação (Mestrado em Ecologia de Agroecossistemas), Escola Superior de Agricultura “Luiz de Queiroz”, Universidade de São Paulo, Piracicaba, 92p.

TENNANT, D.L. Instream flow regimens for fish, wildlife, recreation and related environmental resources. *Fisheries*, v.1, n.4, p.6–10, 1976.

TILLEY, D.R. Howard T. Odum’s contribution to the laws of energy. *Ecological Modelling* v.178, p.121–125, 2004.

TILLEY, D.R. Emergy-based environmental accounting of ecosystems services in rural and urban areas. 2006. University of Maryland, Department of Environmental Science and Technology, College Park. Disponível em:  
<<http://www.nrm.umd.edu/emergy.pdf>>. Acesso em 25 set. 2007.

TILLEY, D.R.; BROWN, M.T. Dynamic emergy accounting for assessing the environmental benefits of subtropical wetland stormwater management systems. *Ecological Modelling*, v.192, p. 327-361, 2006.

TILMAN, D.; FARGIONE, J.; WOLFF, B.; D'ANTONIO, C.; DOBSON, A.; HOWARTH, R.; SCHINDLER, D.; SCHLESINGER, W.H.; SIMBERLOFF, D.; SWACKHAMER, D. Forecasting agriculturally driven global environmental change. *Science*, v.292, n.281, p.281-284, 2001.

TILMAN, D.; CASSMAN, K.G.; MATSON, P.A.; NAYLOR, R.; POLASKY, S. Agricultural sustainability and intensive production practices. *Nature* v.418, p.671-677, 2002.

VÁZQUEZ-FERNÁNDEZ, G.A.; FORMAGGIO, R.A.; EPIPHANIO, J.C.N; GLERIANI, J.M. Determinação de sequencias culturais em micro bacia hidrográfica para determinação do fator C da EUPS, utilizando fotografia aérea. *Anais VII Simpósio Brasileiro de Sensoriamento Remoto*, Salvador, Brasil. INPE, p.63-67, 1996.

WANG, Q.; ADIKU, S.; TENHUNEN, J.; GRANIER, A. On the relationship of NDVI with leaf area index in a deciduous forest site. *Remote Sensing of Environment*, v. 94, n.2, p. 244-255, 2005.

WATANABE, M.D.B. Mata Nativa e Cana-de-açúcar: cálculo do valor dos serviços ecossistêmicos vinculados aos ciclos da água, do carbono e do nitrogênio utilizando a análise emergética.2008. Dissertação (Mestrado em Engenharia de Alimentos). Faculdade de Engenharia de Alimentos, Universidade Estadual de Campinas, Campinas, 195p.

WATANABE, M.D.B.; ORTEGA, E. Ecosystem services and biogeochemical cycles on a global scale: valuation of water, carbon and nitrogen processes. *Environmental Science and Policy*, v.14, p.594-604, 2011.

WORLD BANK. Brazil Low -carbon Country Case Study. Brasília: World Bank, 2010, 270p.

WORLD BANK. State and Trends of the Carbon Market 2011. Washington DC, 2011, 81p.

WUNDER, S.; ENGEL, S.; PAGIOLA, S. Taking stock: A comparative analysis of payments for environmental services programs in developed and developing countries. *Ecological Economics*, v. 65, p.834-852.

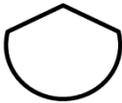
## ANEXO I. SÍMBOLOS DO DIAGRAMA EMERGÉTICO



**Fluxo de Energia:** Um fluxo proporcional ao volume do estoque ou à necessidade da fonte que o produz.



**Interação:** Interseção interativa de dois fluxos ou mais para produzir uma saída em propoção a uma função de ambos ou controle de ação de um fluxo sobre outro.



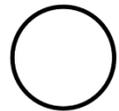
**Depósito:** Uma reserva energética dentro do sistema, que guarda uma quantidade de energia de acordo com o balanço de entrada e saída (variáveis de estado).



**Consumidor:** Unidade que transforma a qualidade da energia, armazena e retro-alimenta energia à etapa anterior (sistema autocatalítico) para melhorar o fluxo de energia que recebe.



**Produtor:** Unidade que coleta e transforma energia de baixa qualidade (baixa intensidade) sob a ação de um fluxo de energia de alta qualidade.



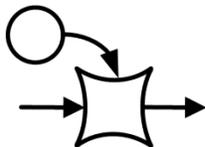
**Fonte:** Um recurso externo que fornece energia de acordo com um programa controlado externamente (função forçante).



**Sumidouro de energia:** Dispersão de energia potencial empregada no sistema. Todos os processos de interação e os armazenamentos dispersam energia.



**Caixa:** Símbolo de uso múltiplo que pode ser usado para representar uma unidade de consumo e produção, representando assim, um sistema ou subsistema.



**Interruptor (switch):** símbolo que representa a possibilidade de ativação ou desativação de determinado fluxo de maneira abrupta, tal como o interruptor de uma lâmpada.

## ANEXO II. INTERFACE DO MODELO HIDROLÓGICO (MS EXCEL®)

	B	C	D	E	F	G	H	I	J	K	L	M	N	O	P	Q	R	S							
3			Pluviosidade anual		Área da bacia [AU]			Surface Mean Depth		Upland soil mean depth		Upland soil water content		Surfacial Aquifer Depth		Surfacial Aquifer poros		Canal water Length							
4	DADOS DA BACIA HIDROGRÁFICA	1396,3	mm.ano-1	498514329	m2	11,48	mm	2	m	0,065	0,130	m	2	m	0,15	249673									
5																									
6																									
7			FLUXOS GERADOS NA BACIA HIDROGRÁFICA																						
8			FLUXOS DE ENTRADA NO SISTEMA													k 2	k4	k5	k7	k8	k9	k10	ks1a, ks1b	ks2	k11
9			Insolation	Rainfall	Rainfall	inflow	Groundwater inflow	Upland Rainfall	Surface Runoff	vert. Cap. Action	Soil Infiltration	pl. Surf. Evap	Canal Evap.	vapotranspiration	ET	5,88E-05	sem info.	sem info.	sem info.	1,29E-02					
10			S	Daily R	R	CF + GW	GW	J2	J4	J5	J7	J8	J9	J9 + J8 + J13	J10	JR1	JR2	JR2	J11						
11			(sunid)	mm.d-1	(m3.d-1)	(m3.d-1)	(m3.d-1)	m3.d-1	m3.d-1	m3.d-1	m3.d-1	m3.d-1	m3.d-1	m3.d-1	m3.d-1	nao disp.	nao disp.	nao disp.	nao disp.	m3.d-1					
12	CALIBRAÇÃO	1	3,83	1,91E+06	3,97E+05	0,00E+00	1,91E+06	8,21E+04	4,99E+03	1,21E+06	6,13E+05	1,13E+04	1,00E+06	4,99E+03	0,65	0,65	0,65	0,65	8,33E+05						
13																									
14																									
15	VALORES INICIAIS	t=0	1	3,83	1,91E+06	3,97E+05	0,00E+00	1,91E+06	8,21E+04	4,99E+03	1,21E+06	6,13E+05	1,13E+04	1,00E+06	4,99E+03	0,65	0,65	0,65	0,65	8,33E+05					
16	Dias do ano	Número de dias																							
17	01Jan	1	1,21	0	0,00E+00	3,97E+05	0,00E+00	0,00E+00	8,23E+04	4,98E+03	1,21E+06	7,41E+05	7,68E+04	1,28E+06	4,99E+03	0,78	0,78	0,78	0,78	8,33E+05					
18	02Jan	2	1,21	2,3	1,15E+06	3,97E+05	0,00E+00	1,15E+06	3,43E+04	5,15E+03	7,83E+05	4,79E+05	4,97E+04	9,87E+05	4,99E+03	0,79	0,79	0,79	0,79	8,32E+05					
19	03Jan	3	1,21	6,8	3,39E+06	3,97E+05	0,00E+00	3,39E+06	3,16E+04	5,12E+03	7,52E+05	4,61E+05	4,78E+04	9,64E+05	5,02E+03	0,79	0,79	0,79	0,79	8,29E+05					
20	04Jan	4	1,21	511	2,55E+07	3,97E+05	0,00E+00	2,55E+07	8,15E+04	4,89E+03	1,21E+06	7,42E+05	7,63E+04	1,27E+06	5,05E+03	0,79	0,79	0,79	0,79	8,19E+05					
21	05Jan	5	1,22	1,2	5,98E+05	3,97E+05	0,00E+00	5,98E+05	2,13E+06	2,91E+03	6,17E+06	3,80E+06	3,94E+05	4,65E+06	5,06E+03	0,79	0,79	0,79	0,79	8,18E+05					
22	06Jan	6	1,22	17,9	8,92E+06	3,97E+05	0,00E+00	8,92E+06	7,81E+05	4,29E+03	3,74E+06	2,30E+06	2,39E+05	3,03E+06	4,77E+03	0,79	0,79	0,79	0,79	8,81E+05					
23	07Jan	7	1,22	1,2	5,98E+05	3,97E+05	0,00E+00	5,98E+05	9,79E+05	4,32E+03	4,18E+06	2,58E+06	2,68E+05	3,36E+06	4,63E+03	0,79	0,79	0,79	0,79	9,11E+05					
24	08Jan	8	1,22	2,1	1,05E+06	3,97E+05	0,00E+00	1,05E+06	3,89E+05	5,15E+03	2,67E+06	1,65E+06	1,71E+05	2,35E+06	4,47E+03	0,79	0,79	0,79	0,79	9,47E+05					
25	09Jan	9	1,22	8,3	4,14E+06	3,97E+05	0,00E+00	4,14E+06	2,00E+05	5,56E+03	1,89E+06	1,17E+06	1,22E+05	1,83E+06	4,41E+03	0,80	0,80	0,80	0,80	9,62E+05					
26	10Jan	10	1,23	10,5	5,23E+06	3,97E+05	0,00E+00	5,23E+06	2,42E+05	5,52E+03	2,08E+06	1,29E+06	1,34E+05	1,97E+06	4,39E+03	0,80	0,80	0,80	0,80	9,67E+05					
27	11Jan	11	1,23	18,7	9,82E+06	3,97E+05	0,00E+00	9,82E+06	3,29E+05	5,43E+03	2,42E+06	1,51E+06	1,56E+05	2,21E+06	4,37E+03	0,80	0,80	0,80	0,80	9,74E+05					
28	12Jan	12	1,23	0	0,00E+00	3,97E+05	0,00E+00	0,00E+00	7,26E+05	5,04E+03	3,60E+06	2,24E+06	2,33E+05	3,03E+06	4,32E+03	0,80	0,80	0,80	0,80	9,86E+05					
29	13Jan	13	1,23	0	0,00E+00	3,97E+05	0,00E+00	0,00E+00	2,74E+05	5,77E+03	2,21E+06	1,38E+06	1,43E+05	2,09E+06	4,21E+03	0,80	0,80	0,80	0,80	1,01E+06					
30	14Jan	14	1,23	0	0,00E+00	3,97E+05	0,00E+00	0,00E+00	1,09E+05	6,14E+03	1,39E+06	8,71E+05	9,02E+04	1,54E+06	4,19E+03	0,80	0,80	0,80	0,80	1,02E+06					
31	15Jan	15	1,23	0	0,00E+00	3,97E+05	0,00E+00	0,00E+00	4,46E+04	6,33E+03	8,93E+05	5,58E+05	5,79E+04	1,19E+06	4,21E+03	0,80	0,80	0,80	0,80	1,02E+06					
32	16Jan	16	1,24	0	0,00E+00	3,97E+05	0,00E+00	0,00E+00	1,87E+04	6,39E+03	5,78E+05	3,61E+05	3,75E+04	9,72E+05	4,26E+03	0,80	0,80	0,80	0,80	1,01E+06					
33	17Jan	17	1,24	0	0,00E+00	3,97E+05	0,00E+00	0,00E+00	7,92E+03	6,39E+03	3,76E+05	2,36E+05	2,44E+04	8,29E+05	4,33E+03	0,80	0,80	0,80	0,80	9,96E+05					
34	18Jan	18	1,24	0	0,00E+00	3,97E+05	0,00E+00	0,00E+00	3,39E+03	6,34E+03	2,46E+05	1,54E+05	1,60E+04	7,31E+05	4,41E+03	0,81	0,81	0,81	0,81	9,81E+05					

**ANEXO II. CONTINUAÇÃO. INTERFACE DO MODELO HIDROLÓGICO (MS EXCEL®)**

	T	U	V	W	X	Y	Z	AA	AB	AC	AD	AE	AF
3	Canal Perimeter	Canal water width	Canal water depth	Canal water depth	Upland biomass	(average land-use)			Native vegetation (%)	Agriculture (%)	Pasture (%)	outras	
4	249673	9.05	m	0.45	m	2.719	kg.m-2		30.0%	27.0%	43.0%	0.0%	agric
5		↑		↑		↑							19.68
6				7.63E+08									1.95
7	FLUXOS GERADOS NA BACIA HIDROGRÁFICA												
8	k12	k13	k14	k15	k16	k18	k19		k20	k21	k22	k28	k29
9	2,76E-11	6,64E-12		5,49E-03	-1,14E-03	2,36E-01	2,32E-07		3,45E-11	6,43E-05	3,06E-04		
10	Gross upl. Production	Transpiration	biomass decaysurf.	Aquifer outflow	anal/Aquif. exch	Linear Can. Disch.	Quadratic Canal Disch.	Total discharge	Plant Photosynthesis (GPP)	Autotrophic respiration (Ra)	Litterfall / Detritus	Fire events	Harvest events
11	J12	J13	J14	J15	J16	J18	J19	J18 + J19	J20	J21	J22	J28	J29
12	kg d-1	m3 d-1	kg d-1	m3 d-1	m3 d-1	m3 d-1	m3 d-1	m3 d-1	kgC.d-1	kgC.d-1	kgC.d-1	kgC.d-1	kgC.d-1
13	1,97E+06	3,79E+05	1,55E+06	8,2159E+05	4,99E+03	2,40E+05	2,40E+05	4,68E+05	9,84E+05	6,11E+05	1,66E+05	0,00E+00	0,00E+00
14		0,76											
15	1,97E+06	3,79E+05	1,55E+06	8,22E+05	4,99E+03	2,40E+05	2,40E+05	4,68E+05	9,84E+05	6,11E+05	1,66E+05	0,00E+00	0,00E+00
16					↑								
17	152E+06	4,58E+05	159E+06	8,22E+05	-2,01E+01	2,38E+05	2,37E+05	4,75E+05	7,62E+05	4,42E+05	2,59E+05	0	9,49E+04
18	167E+06	4,58E+05	163E+06	8,22E+05	-8,95E+01	2,21E+05	2,04E+05	4,25E+05	8,36E+05	4,76E+05	2,36E+05	0	1,04E+05
19	181E+06	4,55E+05	168E+06	8,22E+05	-5,56E+01	2,11E+05	1,86E+05	3,97E+05	9,03E+05	5,09E+05	2,17E+05	0	1,13E+05
20	194E+06	4,52E+05	172E+06	8,22E+05	-1,62E+01	2,07E+05	1,79E+05	3,87E+05	9,70E+05	5,40E+05	2,01E+05	0	1,21E+05
21	2,09E+06	4,53E+05	1,78E+06	8,22E+05	2,69E+01	2,11E+05	1,86E+05	3,97E+05	1,04E+06	5,70E+05	1,87E+05	0	1,30E+05
22	2,41E+06	4,69E+05	1,85E+06	8,22E+05	1,93E+03	6,21E+05	1,61E+06	2,23E+06	1,20E+06	6,00E+05	1,75E+05	0	1,50E+05
23	2,66E+06	5,07E+05	1,92E+06	8,22E+05	-1,53E+03	3,17E+05	4,20E+05	7,37E+05	1,33E+06	6,28E+05	1,64E+05	0	1,66E+05
24	2,94E+06	5,28E+05	1,99E+06	8,22E+05	3,23E+02	4,04E+05	6,82E+05	1,09E+06	1,47E+06	6,55E+05	1,55E+05	0	1,83E+05
25	3,16E+06	5,37E+05	2,05E+06	8,23E+05	-6,62E+02	2,96E+05	3,65E+05	6,60E+05	1,58E+06	6,81E+05	1,47E+05	0	1,97E+05
26	3,34E+06	5,41E+05	2,10E+06	8,24E+05	-3,65E+02	2,52E+05	2,65E+05	5,17E+05	1,67E+06	7,04E+05	1,40E+05	0	2,08E+05
27	3,52E+06	5,47E+05	2,16E+06	8,25E+05	-1,73E+02	2,49E+05	2,59E+05	5,08E+05	1,76E+06	7,27E+05	1,34E+05	0	2,20E+05
28	3,73E+06	5,55E+05	2,22E+06	8,25E+05	-9,62E+01	2,64E+05	2,90E+05	5,54E+05	1,87E+06	7,49E+05	1,29E+05	0	2,32E+05
29	4,00E+06	5,71E+05	2,29E+06	8,26E+05	2,06E+02	3,43E+05	4,91E+05	8,35E+05	2,00E+06	7,70E+05	1,24E+05	0	2,49E+05
30	4,20E+06	5,77E+05	2,34E+06	8,27E+05	-5,56E+02	2,71E+05	3,06E+05	5,77E+05	2,10E+06	7,90E+05	1,19E+05	0	2,62E+05
31	4,36E+06	5,77E+05	2,39E+06	8,28E+05	-4,01E+02	2,33E+05	2,26E+05	4,59E+05	2,18E+06	8,10E+05	1,15E+05	0	2,72E+05
32	4,50E+06	5,73E+05	2,44E+06	8,29E+05	-2,98E+02	2,15E+05	1,93E+05	4,08E+05	2,25E+06	8,30E+05	1,11E+05	0	2,80E+05

**ANEXO II. CONTINUAÇÃO. INTERFACE DO MODELO HIDROLÓGICO (MS EXCEL®)**

	AG	AH	AI	AJ	AK	AL	AM	AN	AO	AP	AQ
3											
4	past	nativa		médio			% area	area (ha)	carbon in biomass (kgC)	% carbon storage	convencional
5	17,51	23,00	GPP (kg/h/d)	19,74		Native vegetation	30,0%	14955,43	5,29E+08	77%	-
6	1,95	2,07	ET (mm/d)	1,99		Agriculture	27,0%	13459,89	4,71E+07	6,82%	50%
7						Pasture	43,0%	21436,12	1,15E+08	17%	50%
8											
9							ESTOQUES PRESENTES NA BACIA HIDROGRÁFICA COMO UM TODO				
10	Above litterfall	Below detritus	Above auto. respiration	Below auto. respiration	Leaf Aerea Index	Day Temperature	Upland Biomass	Surf. Detention	Upl. Soil Moisture	Sur. Aquif. Volume	Canal Water
11					LAI	T	BU	SD	USM	SA	CW
12	kgC.d-1	kgC.d-1	kgC.d-1	kgC.d-1	adm	(°C)	kg	m3	m3	m3	m3
13	6,64E+04	9,96E+04	2,44E+05	3,66E+05	1,25	30,13	1,36E+09	5,72E+06	6,48E+07	1,50E+08	1,02E+06
14											
15	6,64E+04	9,96E+04	2,44E+05	3,66E+05	1,25	30,13	1,36E+09	5,72E+06	6,48E+07	1,50E+08	1,02E+06
16											
17	1,04E+05	1,55E+05	1,77E+05	2,65E+05	0,80	30,71	1,36E+09	5,73E+06	6,48E+07	1,50E+08	1,01E+06
18	9,45E+04	1,42E+05	1,90E+05	2,86E+05	0,88	30,71	1,36E+09	3,70E+06	6,47E+07	1,50E+08	9,38E+05
19	8,69E+04	1,30E+05	2,04E+05	3,05E+05	0,96	30,71	1,36E+09	3,55E+06	6,42E+07	1,50E+08	8,95E+05
20	8,04E+04	1,21E+05	2,16E+05	3,24E+05	1,03	30,71	1,36E+09	5,70E+06	6,37E+07	1,50E+08	8,79E+05
21	7,49E+04	1,12E+05	2,28E+05	3,42E+05	1,11	30,71	1,36E+09	2,91E+07	6,36E+07	1,50E+08	8,95E+05
22	7,00E+04	1,05E+05	2,40E+05	3,60E+05	1,19	30,71	1,36E+09	1,76E+07	6,85E+07	1,50E+08	2,63E+06
23	6,58E+04	9,87E+04	2,51E+05	3,77E+05	1,26	30,71	1,36E+09	1,97E+07	7,09E+07	1,50E+08	1,35E+06
24	6,21E+04	9,31E+04	2,62E+05	3,93E+05	1,34	30,71	1,36E+09	1,26E+07	7,37E+07	1,50E+08	1,72E+06
25	5,87E+04	8,81E+04	2,73E+05	4,09E+05	1,42	30,71	1,36E+09	8,94E+06	7,49E+07	1,50E+08	1,25E+06
26	5,61E+04	8,42E+04	2,81E+05	4,22E+05	1,48	30,70	1,36E+09	9,81E+06	7,53E+07	1,50E+08	1,07E+06
27	5,37E+04	8,06E+04	2,91E+05	4,36E+05	1,55	30,77	1,36E+09	1,14E+07	7,58E+07	1,50E+08	1,06E+06
28	5,16E+04	7,73E+04	2,99E+05	4,49E+05	1,62	30,79	1,36E+09	1,70E+07	7,67E+07	1,50E+08	1,12E+06
29	4,95E+04	7,43E+04	3,08E+05	4,62E+05	1,69	30,80	1,36E+09	1,04E+07	7,88E+07	1,50E+08	1,46E+06
30	4,77E+04	7,16E+04	3,16E+05	4,74E+05	1,75	30,81	1,37E+09	6,59E+06	7,94E+07	1,51E+08	1,15E+06
31	4,60E+04	6,90E+04	3,24E+05	4,86E+05	1,82	30,83	1,37E+09	4,22E+06	7,92E+07	1,51E+08	9,87E+05

**ANEXO II. CONTINUAÇÃO. INTERFACE DO MODELO HIDROLÓGICO (MS EXCEL®)**

	AR	AS	AT	AU	AV	AW	AX	AY	AZ	BA	BB	BC	BD	
3														
4	com manejo/PD	Deposição liteira (kgC/ha/d)												
5	-		3,50	(Parron, Bustamante e Prado, 2004)										
6	50%		1,00	Por cálculo										
7	50%		3,50	Por estimativa										
8			3,33E+00	Média										
9									<b>Empower Input</b>					
10	Aboveground B.	Belowground B	USM sim	USM estim	USM sim acum.	USM est. acum.			Solar Energy	Rainfall	Canal + Groundwater Inflow			
11	AGB	BGB		Inmet 2010		Inmet 2010			R	R	CF+GW			
12	kg	kg	m3	m3	m3	m3			Tr = 1 se.J.J-1 1,56E+07	Tr = 15.000 se.J. J-1 1 m3 = 1000 kg	Tr = 40.000 se.J. J-1 1 m3 = 1000 kg			
13	7,33E+08	6,23E+08							J.m-2.d-1,*area bacia	En. Gibbs = 4949 J/kg	En. Gibbs = 4949 J/kg			
14														
15	7,33E+08	6,23E+08												
16									Dias	Empow. Solar Energy	Empow. Rainfall (sej)	Emp. Canal Inflow (sej)	Empow. Groundwater (sej)	Total Empower Input (sej)
17	7,33E+08	6,23E+08	6,49E+07	6,49E+07	-3,88E+10	-3,10E+10			1	9,36E+15	0,00E+00	7,8677E+16	0,00E+00	8,804E+16
18	7,33E+08	6,23E+08	6,47E+07	6,46E+07	-3,88E+10	-3,09E+10			2	9,38E+15	8,51E+16	7,87E+16	0,00E+00	1,73E+17
19	7,33E+08	6,23E+08	6,42E+07	6,41E+07	-3,89E+10	-3,08E+10			3	9,40E+15	2,52E+17	7,87E+16	0,00E+00	3,40E+17
20	7,33E+08	6,23E+08	6,37E+07	6,35E+07	-3,84E+10	-3,08E+10			4	9,42E+15	1,89E+18	7,87E+16	0,00E+00	1,96E+18
21	7,33E+08	6,23E+08	6,36E+07	6,26E+07	-3,84E+10	-3,07E+10			5	9,43E+15	4,44E+16	7,87E+16	0,00E+00	1,33E+17
22	7,33E+08	6,23E+08	6,86E+07	6,36E+07	-3,83E+10	-3,07E+10			6	9,45E+15	6,62E+17	7,87E+16	0,00E+00	7,51E+17
23	7,34E+08	6,23E+08	7,09E+07	6,99E+07	-3,82E+10	-3,06E+10			7	9,47E+15	4,44E+16	7,87E+16	0,00E+00	1,33E+17
24	7,34E+08	6,24E+08	7,37E+07	7,31E+07	-3,82E+10	-3,05E+10			8	9,48E+15	7,77E+16	7,87E+16	0,00E+00	1,66E+17
25	7,35E+08	6,24E+08	7,49E+07	7,46E+07	-3,81E+10	-3,04E+10			9	9,50E+15	3,07E+17	7,87E+16	0,00E+00	3,95E+17
26	7,35E+08	6,25E+08	7,53E+07	7,53E+07	-3,80E+10	-3,04E+10			10	9,51E+15	3,89E+17	7,87E+16	0,00E+00	4,77E+17
27	7,36E+08	6,25E+08	7,58E+07	7,78E+07	-3,79E+10	-3,03E+10			11	9,53E+15	7,29E+17	7,87E+16	0,00E+00	8,17E+17
28	7,37E+08	6,26E+08	7,67E+07	7,87E+07	-3,79E+10	-3,02E+10			12	9,54E+15	0,00E+00	7,87E+16	0,00E+00	8,82E+16
29	7,37E+08	6,27E+08	7,88E+07	7,84E+07	-3,78E+10	-3,01E+10			13	9,55E+15	0,00E+00	7,87E+16	0,00E+00	8,82E+16
30	7,38E+08	6,27E+08	7,94E+07	7,87E+07	-3,77E+10	-3,00E+10			14	9,56E+15	0,00E+00	7,87E+16	0,00E+00	8,82E+16
31	7,39E+08	6,28E+08	7,92E+07	7,61E+07	-3,76E+10	-3,00E+10			15	9,58E+15	0,00E+00	7,87E+16	0,00E+00	8,83E+16

**ANEXO II. CONTINUAÇÃO. INTERFACE DO MODELO HIDROLÓGICO (MS EXCEL®)**

	BW	BX	BY	BZ	CA	CB	CC	CD	CE	CF	CG	CH	CI	CJ	CK	CL
9															Emdólar (Pereira)= sej/USD	4,85E+12
10																
11	vapoTranspirati	Canal discharge	Groundwater outflow			EvapoTranspiration	Canal discharge	Groundwater outflow		vapoTranspirati	Canal discharge	Groundwater outflow		Transpiration	Canal discharge	Groundwater outflow
12																
13		Fração mássica					Energia alocada				Energia por volume (sej m-3)				EM\$ por volume (EM\$ m-3)	
14							T3 da energia foi para cada fluxo				equal energy				equal energy	
15																
16	vapTransp. (fraçã	Canal Disch. (Fraçã	G. outflow (fraçã	total		Transp. (fraçã	Canal Disch. (Fraçã	G. outflow (fraçã		Transp.	Canal Disch.	G. outflow		Transp.	Canal Disch.	G. outflow
17	0.51	0.16	0.33	1.00		2.93E+16	2.93E+16	2.93E+16		2.24E+10	7.010E+10	3.45E+10		0.005	0.014	0.007
18	0.51	0.15	0.34	1.00		5.77E+16	5.77E+16	5.77E+16		4.58E+10	1.54E+11	6.78E+10		0.009	0.032	0.014
19	0.51	0.15	0.35	1.00		1.13E+17	1.13E+17	1.13E+17		9.09E+10	3.11E+11	1.33E+11		0.019	0.064	0.027
20	0.51	0.14	0.34	1.00		6.60E+17	6.60E+17	6.60E+17		5.13E+11	1.83E+12	7.75E+11		0.106	0.377	0.160
21	0.61	0.12	0.28	1.00		4.42E+16	4.42E+16	4.42E+16		2.38E+10	1.26E+11	5.19E+10		0.005	0.026	0.011
22	0.56	0.17	0.27	1.00		2.50E+17	2.50E+17	2.50E+17		1.42E+11	4.59E+11	2.94E+11		0.029	0.094	0.061
23	0.59	0.15	0.27	1.00		4.42E+16	4.42E+16	4.42E+16		2.34E+10	9.46E+10	5.19E+10		0.005	0.020	0.011
24	0.58	0.15	0.27	1.00		5.53E+16	5.53E+16	5.53E+16		3.06E+10	1.19E+11	6.49E+10		0.006	0.024	0.013
25	0.58	0.13	0.28	1.00		1.32E+17	1.32E+17	1.32E+17		7.52E+10	3.28E+11	1.54E+11		0.016	0.068	0.032
26	0.59	0.12	0.28	1.00		1.59E+17	1.59E+17	1.59E+17		8.91E+10	4.36E+11	1.86E+11		0.018	0.090	0.038
27	0.60	0.12	0.28	1.00		2.72E+17	2.72E+17	2.72E+17		1.48E+11	7.76E+11	3.18E+11		0.031	0.160	0.066
28	0.62	0.11	0.27	1.00		2.94E+16	2.94E+16	2.94E+16		1.47E+10	8.42E+10	3.43E+10		0.003	0.017	0.007
29	0.61	0.12	0.27	1.00		2.94E+16	2.94E+16	2.94E+16		1.54E+10	7.73E+10	3.42E+10		0.003	0.016	0.007
30	0.60	0.12	0.28	1.00		2.94E+16	2.94E+16	2.94E+16		1.60E+10	8.20E+10	3.42E+10		0.003	0.017	0.007
31	0.59	0.12	0.29	1.00		2.94E+16	2.94E+16	2.94E+16		1.66E+10	8.50E+10	3.41E+10		0.003	0.018	0.007
32	0.59	0.12	0.30	1.00		2.94E+16	2.94E+16	2.94E+16		1.72E+10	8.50E+10	3.40E+10		0.004	0.018	0.007
33	0.58	0.12	0.30	1.00		2.94E+16	2.94E+16	2.94E+16		1.78E+10	8.33E+10	3.40E+10		0.004	0.017	0.007
34	0.57	0.13	0.31	1.00		2.94E+16	2.94E+16	2.94E+16		1.84E+10	8.12E+10	3.39E+10		0.004	0.017	0.007
35	0.56	0.13	0.31	1.00		2.94E+16	2.94E+16	2.94E+16		1.90E+10	7.93E+10	3.39E+10		0.004	0.016	0.007
36	0.55	0.14	0.32	1.00		2.94E+16	2.94E+16	2.94E+16		1.96E+10	7.76E+10	3.38E+10		0.004	0.016	0.007
37	0.54	0.14	0.32	1.00		2.94E+16	2.94E+16	2.94E+16		2.02E+10	7.66E+10	3.38E+10		0.004	0.016	0.007
38	0.53	0.15	0.33	1.00		1.42E+17	1.42E+17	1.42E+17		1.00E+11	3.65E+11	1.63E+11		0.021	0.075	0.034
39	0.54	0.14	0.32	1.00		2.94E+16	2.94E+16	2.94E+16		1.99E+10	7.53E+10	3.37E+10		0.004	0.016	0.007
40	0.54	0.14	0.33	1.00		2.94E+16	2.94E+16	2.94E+16		2.06E+10	8.05E+10	3.37E+10		0.004	0.017	0.007
41	0.53	0.14	0.33	1.00		2.94E+16	2.94E+16	2.94E+16		2.14E+10	8.11E+10	3.37E+10		0.004	0.017	0.007

**ANEXO II. CONTINUAÇÃO. INTERFACE DO MODELO HIDROLÓGICO (MS EXCEL®)**

	CN	CO	CP	CQ	CR	CS	CT	CU	CV	CW	CX	CY	CZ	DA	DB	DC	DD	DE	DF	DG
9															VALORES INTEGRAIS PARA A BACIA					
10																				
11	Transpiration Canal discharge Groundwater outflow				Transpiration Canal discharge Groundwater outflow				Transpiration Canal discharge Groundwater outflow					Transpiration Canal discharge Groundwater outflow						
12	EMS por volume (EMS m-3)				EMS por volume (EMS m-3)				EMS por volume (EMS m-3)					EM\$ FIXANDO MEDIA						
13	co produtos				split de energia				tracking flows					equal energy						
14																				
15																				
16	Transp.	Canal Disch.	G. outflow		Transp.	Canal Disch.	G. outflow		Transp.	Canal Disch.	G. outflow			Transp total	transp per h	Canal Disch.	Canal per ha	G. outflow	Ground per l	
17	0.014	0.043	0.021		0.007	0.007	0.007		0.004	0.016	0.006			33548.89	0.673	16950.67	0.34	1955.76	0.39	
18	0.028	0.095	0.042		0.014	0.014	0.014		0.008	0.036	0.011			32346.58	0.649	15163.18	0.30	2140.00	0.43	
19	0.056	0.192	0.082		0.028	0.028	0.028		0.016	0.073	0.021			31960.91	0.641	14753.32	0.30	23039.63	0.46	
20	0.317	1.131	0.479		0.163	0.163	0.163		0.092	0.430	0.125			32975.82	0.661	14606.73	0.29	24621.94	0.49	
21	0.015	0.078	0.032		0.009	0.009	0.009		0.004	0.030	0.008			47538.49	0.954	14232.46	0.29	26463.25	0.53	
22	0.088	0.281	0.182		0.049	0.049	0.049		0.026	0.107	0.047			45942.64	0.904	22284.81	0.45	31702.32	0.64	
23	0.014	0.059	0.032		0.009	0.009	0.009		0.004	0.022	0.008			48366.71	0.970	18911.35	0.38	35777.78	0.72	
24	0.019	0.073	0.040		0.011	0.011	0.011		0.005	0.028	0.010			46303.34	0.929	18866.66	0.38	40394.31	0.81	
25	0.047	0.203	0.096		0.027	0.027	0.027		0.013	0.077	0.025			44951.67	0.902	16272.17	0.33	44014.84	0.88	
26	0.055	0.270	0.115		0.033	0.033	0.033		0.016	0.102	0.030			45761.18	0.918	14767.94	0.30	46700.16	0.94	
27	0.092	0.480	0.197		0.055	0.055	0.055		0.027	0.182	0.051			47211.38	0.947	14212.28	0.29	49516.46	0.99	
28	0.009	0.052	0.021		0.006	0.006	0.006		0.003	0.020	0.006			51423.99	1.032	14132.21	0.28	52656.83	1.06	
29	0.010	0.048	0.021		0.006	0.006	0.006		0.003	0.018	0.006			49087.36	0.985	15399.38	0.31	57000.05	1.14	
30	0.010	0.051	0.021		0.006	0.006	0.006		0.003	0.019	0.005			47135.93	0.946	14515.59	0.29	60096.23	1.21	
31	0.010	0.053	0.021		0.006	0.006	0.006		0.003	0.020	0.005			45425.03	0.911	14008.91	0.28	62319.47	1.25	
32	0.011	0.053	0.021		0.006	0.006	0.006		0.003	0.020	0.005			43874.32	0.880	14016.46	0.28	63918.53	1.28	
33	0.011	0.052	0.021		0.006	0.006	0.006		0.003	0.020	0.005			42436.65	0.851	14303.99	0.29	65062.63	1.31	
34	0.011	0.050	0.021		0.006	0.006	0.006		0.003	0.019	0.005			41083.01	0.824	14679.08	0.29	62387.16	1.25	
35	0.012	0.049	0.021		0.007	0.007	0.007		0.003	0.019	0.005			39792.56	0.798	15034.78	0.30	59619.43	1.20	
36	0.012	0.048	0.021		0.007	0.007	0.007		0.004	0.018	0.005			38653.73	0.773	15327.94	0.31	56831.92	1.14	
37	0.013	0.047	0.021		0.007	0.007	0.007		0.004	0.018	0.005			37358.98	0.749	15551.49	0.31	54070.86	1.08	
38	0.062	0.226	0.101		0.033	0.033	0.033		0.018	0.086	0.026			36203.23	0.726	15714.23	0.32	51365.42	1.03	
39	0.012	0.047	0.021		0.007	0.007	0.007		0.004	0.018	0.005			37954.36	0.761	15829.42	0.32	48733.54	0.98	
40	0.013	0.050	0.021		0.007	0.007	0.007		0.004	0.019	0.005			36611.15	0.734	14818.02	0.30	47145.68	0.95	
41	0.013	0.050	0.021		0.007	0.007	0.007		0.004	0.019	0.005			35366.55	0.709	14703.09	0.29	45261.31	0.91	

**ANEXO II. CONTINUAÇÃO. INTERFACE DO MODELO HIDROLÓGICO (MS EXCEL®)**

	DA	DB	DC	DD	DE	DF	DG	DH	DI	DJ	DK	DL	DM	DN	DO	DP	DQ	DR	DS	DT	DU															
9	VALORES INTEGRAIS PARA A BACIA								VALORES INTEGRAIS PARA A BACIA								VALORES INTEGRAIS PARA A BACIA																			
10																																				
11	<b>Transpiration</b>						<b>Canal discharge</b>						<b>Groundwater outflow</b>						<b>Transpiration</b>						<b>Canal discharge</b>						<b>Groundwater outflow</b>					
12																																				
13	EM\$						FIXANDO MEDIA						EM\$						FIXANDO MEDIA						EM\$ m-3											
14	equal energy												co produtos												equal split											
15																																				
16		Transp total	transp per h	Canal Disch.	Canal per ha	G. outflow	Ground per ha		Transp total	transp per h	Canal Disch.	Canal per ha	G. outflow	Ground per ha		Transp total	transp per h	Canal Disch.	Canal per ha	G. outflow	Ground per ha															
17		33548.89	0.673	16350.67	0.34	19555.76	0.39		100646.67	2.019	50852.00	1.02	55219.82	1.11		27744.29	0.557	8881.79	0.18	18058.92	0.36															
18		32346.58	0.649	15163.18	0.30	21410.00	0.43		97039.73	1.947	45489.54	0.91	55222.13	1.11		26750.00	0.537	7945.19	0.16	18059.67	0.36															
19		31960.91	0.641	14753.32	0.30	23039.63	0.46		95882.72	1.923	44259.95	0.89	55233.47	1.11		26431.06	0.530	7730.43	0.16	18060.11	0.36															
20		32975.82	0.661	14606.73	0.29	24621.94	0.49		98927.46	1.984	43820.19	0.88	55220.79	1.11		27270.37	0.547	7653.62	0.15	18059.23	0.36															
21		47538.49	0.954	14232.46	0.29	26463.25	0.53		142615.46	2.861	42697.39	0.86	55214.05	1.11		39313.42	0.789	7457.51	0.15	18057.03	0.36															
22		45042.64	0.904	22284.81	0.45	31702.32	0.64		135127.93	2.711	66854.44	1.34	55206.82	1.11		37249.40	0.747	11676.77	0.23	18054.66	0.36															
23		48366.71	0.970	18911.35	0.38	35777.78	0.72		145100.13	2.911	56734.05	1.14	55236.14	1.11		39998.34	0.802	9909.15	0.20	18064.25	0.36															
24		46303.34	0.929	18866.66	0.38	40394.31	0.81		138910.02	2.786	56599.97	1.14	55285.53	1.11		38291.97	0.768	9885.73	0.20	18080.41	0.36															
25		44951.67	0.902	16272.17	0.33	44014.84	0.88		134855.00	2.705	48816.52	0.98	55357.38	1.11		37174.17	0.746	8526.28	0.17	18103.91	0.36															
26		45761.18	0.918	14767.94	0.30	46700.16	0.94		137283.54	2.754	44303.81	0.89	55439.93	1.11		37843.62	0.759	7738.09	0.16	18130.90	0.36															
27		47211.98	0.947	14212.28	0.29	49516.46	0.99		141634.15	2.841	42636.85	0.86	55526.34	1.11		39042.91	0.783	7446.94	0.15	18159.16	0.36															
28		51423.99	1.032	14132.21	0.28	52656.83	1.06		154271.96	3.095	42396.63	0.85	55617.19	1.12		42526.65	0.853	7404.98	0.15	18188.87	0.36															
29		49087.36	0.985	15399.38	0.31	57000.05	1.14		147262.07	2.954	46198.14	0.93	55714.54	1.12		40594.30	0.814	8068.95	0.16	18220.71	0.37															
30		47135.93	0.946	14515.59	0.29	60096.23	1.21		141407.80	2.837	43546.78	0.87	55826.79	1.12		38980.51	0.782	7605.87	0.15	18257.42	0.37															
31		45425.03	0.911	14008.91	0.28	62319.47	1.25		136275.08	2.734	42026.73	0.84	55943.51	1.12		37565.62	0.754	7340.37	0.15	18295.59	0.37															
32		43874.32	0.880	14016.46	0.28	63918.53	1.28		131622.97	2.640	42049.37	0.84	56098.04	1.12		36283.22	0.728	7344.33	0.15	18333.05	0.37															
33		42436.65	0.851	14303.99	0.29	65062.63	1.31		127309.96	2.554	42911.97	0.86	56166.24	1.13		35094.30	0.704	7494.99	0.15	18368.43	0.37															
34		41083.01	0.824	14679.08	0.29	62387.16	1.25		123249.04	2.472	44037.25	0.88	56265.54	1.13		33974.86	0.682	7631.53	0.15	18400.91	0.37															
35		39792.56	0.798	15034.78	0.30	59619.43	1.20		119377.67	2.395	45104.34	0.90	56354.42	1.13		32907.68	0.660	7877.91	0.16	18429.97	0.37															
36		38953.73	0.773	15327.94	0.31	56831.92	1.14		115661.20	2.320	45983.81	0.92	56432.03	1.13		31883.20	0.640	8031.52	0.16	18455.35	0.37															
37		37358.98	0.749	15551.49	0.31	54070.86	1.08		112076.95	2.248	46654.46	0.94	56497.95	1.13		30895.16	0.620	8148.65	0.16	18476.91	0.37															
38		36203.23	0.726	15714.23	0.32	51365.42	1.03		108609.70	2.179	47142.69	0.95	56552.07	1.13		29939.38	0.601	8233.93	0.17	18494.61	0.37															
39		37954.36	0.761	15829.42	0.32	48733.54	0.98		113863.07	2.284	47488.26	0.95	56594.43	1.14		31387.52	0.630	8294.28	0.17	18506.47	0.37															
40		36611.15	0.734	14818.02	0.30	47145.68	0.95		109833.46	2.203	44454.07	0.89	56625.24	1.14		30276.72	0.607	7764.33	0.16	18518.54	0.37															
41		35366.55	0.709	14703.09	0.29	45261.31	0.91		106099.64	2.128	44109.27	0.88	56651.93	1.14		29247.46	0.587	7704.11	0.15	18527.27	0.37															

**ANEXO III. INTERFACE DO MODELO HIDROCARBONO (MS EXCEL®)**

A	B	C	D	E	F	G	H	I	J	K	L	
		INPUT TO THE MODEL						1,18E+09				
								k 20	k 21		k22	
								3,45E-11	6,43E-05		3,06E-04	
		Rem. Upl. Insolation	Runoff	ET	Soil moisture	Day Temperature	Leaf Aerea Index	Plant Photosynthesis (GPP)	Autotrophic respiration (Ra)	Net Prim Prod. (NPP)	Litterfall and Detritus pr.	
		JR	J4	J8+J9+J13	USM	T	LAI	J20	J21	J20-J21	J22	
		adm	m3 d-1	mm d-1	m3	(°C)	adm.	kgC.d-1	kgC.d-1	kgC.d-1	kgC.d-1	
	calibração (2006/2008)	0,65	8,21E+04	2,01	6,48E+07	30,1	18,66	9,84E+05	6,11E+05	5,43E+07	1,66E+05	
	Valores Iniciais	0,65	8,21E+04	2,01	6,48E+07	30,1	18,66	9,84E+05	6,11E+05	5,43E+07	1,66E+05	
01/jan	1	0,78	8,23E+04	2,56	6,48E+07	30,7	0,80	7,62E+05	4,42E+05	-3,43E+04	2,59E+05	
02/jan	2	0,79	3,43E+04	1,98	6,47E+07	30,7	0,88	8,36E+05	4,76E+05	1,91E+04	2,36E+05	
03/jan	3	0,79	3,16E+04	1,93	6,42E+07	30,7	0,96	9,03E+05	5,09E+05	6,49E+04	2,17E+05	
04/jan	4	0,79	8,15E+04	2,55	6,37E+07	30,7	1,03	9,70E+05	5,40E+05	1,08E+05	2,01E+05	
05/jan	5	0,79	2,13E+06	9,32	6,36E+07	30,7	1,11	1,04E+06	5,70E+05	1,56E+05	1,87E+05	
06/jan	6	0,79	7,81E+05	6,08	6,85E+07	30,7	1,19	1,20E+06	6,00E+05	2,80E+05	1,75E+05	
07/jan	7	0,79	9,79E+05	6,74	7,09E+07	30,7	1,26	1,33E+06	6,28E+05	3,72E+05	1,64E+05	
08/jan	8	0,79	3,99E+05	4,72	7,37E+07	30,7	1,34	1,47E+06	6,55E+05	4,76E+05	1,55E+05	
09/jan	9	0,80	2,00E+05	3,68	7,49E+07	30,7	1,42	1,58E+06	6,81E+05	5,56E+05	1,47E+05	
10/jan	10	0,80	2,42E+05	3,94	7,53E+07	30,7	1,48	1,67E+06	7,04E+05	6,18E+05	1,40E+05	
11/jan	11	0,80	3,29E+05	4,43	7,58E+07	30,8	1,55	1,76E+06	7,27E+05	6,81E+05	1,34E+05	
12/jan	12	0,80	7,26E+05	6,08	7,67E+07	30,8	1,62	1,87E+06	7,49E+05	7,55E+05	1,29E+05	
13/jan	13	0,80	2,74E+05	4,20	7,88E+07	30,8	1,69	2,00E+06	7,70E+05	8,57E+05	1,24E+05	
14/jan	14	0,80	1,09E+05	3,08	7,94E+07	30,8	1,75	2,10E+06	7,90E+05	9,30E+05	1,19E+05	
15/jan	15	0,80	4,46E+04	2,39	7,92E+07	30,8	1,82	2,18E+06	8,10E+05	9,85E+05	1,15E+05	
16/jan	16	0,80	1,87E+04	1,95	7,85E+07	30,8	1,89	2,25E+06	8,30E+05	1,03E+06	1,11E+05	
17/jan	17	0,80	7,92E+03	1,66	7,75E+07	31,0	1,96	2,30E+06	8,52E+05	1,06E+06	1,07E+05	
18/jan	18	0,81	3,39E+03	1,47	7,63E+07	30,5	1,92	2,23E+06	8,32E+05	1,01E+06	1,10E+05	
19/jan	19	0,81	1,47E+03	1,33	7,50E+07	30,1	1,88	2,15E+06	8,12E+05	9,59E+05	1,12E+05	
20/jan	20	0,81	6,43E+02	1,24	7,37E+07	29,7	1,84	2,07E+06	7,92E+05	9,08E+05	1,15E+05	
21/jan	21	0,81	2,85E+02	1,17	7,23E+07	29,3	1,80	1,99E+06	7,71E+05	8,57E+05	1,18E+05	
22/jan	22	0,81	1,29E+02	1,12	7,09E+07	28,9	1,76	1,92E+06	7,51E+05	8,06E+05	1,20E+05	
23/jan	23	0,81	5,52E+04	2,42	6,95E+07	28,5	1,72	1,84E+06	7,31E+05	7,56E+05	1,23E+05	
24/jan	24	0,81	2,29E+04	1,92	6,91E+07	28,1	1,68	1,79E+06	7,11E+05	7,30E+05	1,26E+05	
25/jan	25	0,81	9,65E+03	1,60	6,83E+07	27,7	1,64	1,73E+06	6,91E+05	6,95E+05	1,30E+05	
26/jan	26	0,81	4,11E+03	1,39	6,73E+07	28,0	1,73	1,80E+06	7,23E+05	7,32E+05	1,23E+05	

**ANEXO III. CONTINUAÇÃO. INTERFACE DO MODELO HIDROCARBONO (MS EXCEL®)**

	M	N	O	P	Q	R	S	T	U	V	W
9	k23		k24	k25	k26	k27	k28	k29	NEE		
10	1,87E-06		7,16E-10	4,32E-13	1,01E+05	2,16E-11					
11	Carbon litter to the soil	Hetetr. Respiration	Litter respiration	Soil respiration	Methane oxidation	Carbon Runoff	Fire events	Harvest events	Net Ecos.Exchange (to the soil)	Biomass decay	Biomass Carbon
12	J23		J24	J25	J26	J27	J28	J29		J21+J22+%(J28)+%(J29)	BC
13	kgC.d-1		kgC.d-1	kgC.d-1	kgC.d-1	kgC.d-1	kgC.d-1	kgC.d-1	kgC.d-1		kg C
14	1,16E+05		4,98E+04	1,99E+05	4,78E+02	8,84E+03	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	7,77E+05	6,78E+08
15				3,99E+00							
16	1,16E+05	2,49E+05	4,98E+04	1,99E+05	4,78E+02	8,84E+03	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	7,77E+05	6,78E+08
17											4,70E-01
18	1,81E+05	2,73E+05	6,59E+04	2,07E+05	4,12E+02	8,85E+03	0	94912,84077	-5,70E+04	7,01E+05	6,78E+08
19	1,71E+05	2,60E+05	5,25E+04	2,07E+05	4,11E+02	3,69E+03	0	104099,6758	-7,50E+03	7,12E+05	6,78E+08
20	1,62E+05	2,58E+05	5,27E+04	2,05E+05	4,11E+02	3,40E+03	0	112549,4732	2,11E+04	7,26E+05	6,78E+08
21	1,51E+05	2,73E+05	6,93E+04	2,04E+05	4,10E+02	8,78E+03	0	120849,5704	2,77E+04	7,41E+05	6,78E+08
22	1,34E+05	4,44E+05	2,41E+05	2,04E+05	4,09E+02	2,29E+05	0	129983,5869	-3,30E+05	7,58E+05	6,78E+08
23	6,37E+04	3,05E+05	8,62E+04	2,19E+05	4,08E+02	8,40E+04	0	150012,8463	6,56E+04	7,75E+05	6,78E+08
24	6,76E+04	3,38E+05	1,12E+05	2,27E+05	4,08E+02	1,05E+05	0	165611,7467	9,28E+04	7,92E+05	6,78E+08
25	5,95E+04	3,11E+05	7,57E+04	2,36E+05	4,07E+02	4,29E+04	0	182952,1159	2,77E+05	8,10E+05	6,79E+08
26	6,18E+04	3,05E+05	6,58E+04	2,39E+05	4,06E+02	2,16E+04	0	197044,1191	3,77E+05	8,28E+05	6,79E+08
27	6,41E+04	3,17E+05	7,69E+04	2,41E+05	4,05E+02	2,60E+04	0	207962,8639	4,15E+05	8,44E+05	6,80E+08
28	6,12E+04	3,31E+05	8,73E+04	2,44E+05	4,07E+02	3,53E+04	0	219548,3761	4,50E+05	8,61E+05	6,81E+08
29	5,53E+04	3,61E+05	1,14E+05	2,47E+05	4,07E+02	7,81E+04	0	232345,8063	4,46E+05	8,78E+05	6,81E+08
30	4,37E+04	3,20E+05	6,67E+04	2,54E+05	4,06E+02	2,94E+04	0	249110,9107	6,32E+05	8,94E+05	6,82E+08
31	4,51E+04	3,09E+05	5,30E+04	2,56E+05	4,06E+02	1,17E+04	0	261773,6983	7,29E+05	9,10E+05	6,83E+08
32	4,81E+04	3,01E+05	4,53E+04	2,55E+05	4,06E+02	4,80E+03	0	271816,794	7,95E+05	9,25E+05	6,84E+08
33	5,09E+04	2,94E+05	4,02E+04	2,53E+05	4,06E+02	2,01E+03	0	280083,0956	8,43E+05	9,41E+05	6,85E+08
34	5,33E+04	2,89E+05	3,88E+04	2,52E+05	4,09E+02	8,51E+02	0	287089,6583	8,76E+05	9,59E+05	6,86E+08
35	5,80E+04	2,74E+05	3,32E+04	2,41E+05	3,97E+02	3,65E+02	0	277671,9343	8,45E+05	9,42E+05	6,87E+08
36	6,32E+04	2,61E+05	3,07E+04	2,31E+05	3,86E+02	1,58E+02	0	267964,1173	8,10E+05	9,24E+05	6,88E+08
37	6,86E+04	2,49E+05	2,89E+04	2,20E+05	3,74E+02	6,91E+01	0	258160,1587	7,74E+05	9,06E+05	6,89E+08
38	7,41E+04	2,38E+05	2,75E+04	2,10E+05	3,64E+02	3,07E+01	0	248382,709	7,37E+05	8,89E+05	6,90E+08
39	7,94E+04	2,27E+05	2,63E+04	2,00E+05	3,53E+02	1,39E+01	0	238709,4518	7,00E+05	8,72E+05	6,91E+08
40	8,48E+04	2,47E+05	5,64E+04	1,91E+05	3,43E+02	5,94E+03	0	229189,4308	6,27E+05	8,54E+05	6,91E+08
41	8,26E+04	2,26E+05	4,12E+04	1,84E+05	3,34E+02	2,46E+03	0	222955,8657	6,28E+05	8,37E+05	6,92E+08
42	8,53E+04	2,11E+05	3,32E+04	1,77E+05	3,24E+02	1,04E+03	0	215648,7219	6,14E+05	8,20E+05	6,93E+08
43	8,35E+04	2,08E+05	2,98E+04	1,78E+05	3,31E+02	4,42E+02	0	224532,8793	6,47E+05	8,46E+05	6,94E+08
44	8,16E+04	2,07E+05	2,75E+04	1,79E+05	3,37E+02	1,90E+02	0	232666,7085	6,74E+05	8,71E+05	6,94E+08
45	7,95E+04	2,05E+05	2,59E+04	1,80E+05	3,44E+02	8,25E+01	0	240177,2368	6,97E+05	8,97E+05	6,95E+08

**ANEXO III. CONTINUAÇÃO. INTERFACE DO MODELO HIDROCARBONO (MS EXCEL®)**

9	k29		NEE		ESTOQUES PRESENTES NA BACIA DO TAQUARIZINHO (2006-2007)					
10										
11	Harvest events	Net Ecos.Exchange (to the soil)	Biomass decay	Biomass Carbon	Aboveground biomass carbon	Belowground biomass carbon	Soil Carbon	Litter/Detritus Carbon	Litter Carbon	Detritus Carbon
12	J29		J21+J22+%(J28)+%(J29)	BC	AGBC	BGBC	SC	LDC	LC	DC
13	kgC.d-1	kgC.d-1		kg C	kg C	kg C	kg C	kg C	kgC	kg C
14	0,00E+00	0,00E+00	7,77E+05	6,78E+08	3,66E+08	3,11E+08	4,99E+09	3,74E+05	1,50E+05	2,24E+05
15										
16	0,00E+00	0,00E+00	7,77E+05	6,78E+08	3,66E+08	3,11E+08	4,99E+09	3,74E+05	1,50E+05	2,24E+05
17				4,70E-01						
18	94912,84077	-5,70E+04	7,01E+05	6,78E+08	3,66E+08	3,11E+08	4,99E+09	3,74E+05	1,50E+05	2,24E+05
19	104099,6758	-7,50E+03	7,12E+05	6,78E+08	3,66E+08	3,11E+08	4,99E+09	3,86E+05	1,54E+05	2,31E+05
20	112549,4732	2,11E+04	7,26E+05	6,78E+08	3,66E+08	3,11E+08	4,99E+09	3,99E+05	1,60E+05	2,39E+05
21	120849,5704	2,77E+04	7,41E+05	6,78E+08	3,67E+08	3,11E+08	4,99E+09	4,01E+05	1,60E+05	2,41E+05
22	129983,5869	-3,30E+05	7,58E+05	6,78E+08	3,67E+08	3,12E+08	4,98E+09	3,82E+05	1,53E+05	2,29E+05
23	150012,8463	6,56E+04	7,75E+05	6,78E+08	3,67E+08	3,12E+08	4,98E+09	1,94E+05	7,78E+04	1,17E+05
24	165611,7467	9,28E+04	7,92E+05	6,79E+08	3,67E+08	3,12E+08	4,98E+09	2,10E+05	8,79E+04	1,32E+05
25	182952,1159	2,77E+05	8,10E+05	6,79E+08	3,67E+08	3,12E+08	4,98E+09	2,05E+05	8,20E+04	1,23E+05
26	197044,1191	3,77E+05	8,28E+05	6,79E+08	3,67E+08	3,12E+08	4,98E+09	2,25E+05	9,00E+04	1,35E+05
27	207962,8639	4,15E+05	8,44E+05	6,80E+08	3,68E+08	3,12E+08	4,98E+09	2,44E+05	9,76E+04	1,46E+05
28	219548,3761	4,50E+05	8,61E+05	6,81E+08	3,68E+08	3,13E+08	4,98E+09	2,43E+05	9,73E+04	1,46E+05
29	232345,8063	4,46E+05	8,78E+05	6,81E+08	3,68E+08	3,13E+08	4,98E+09	2,29E+05	9,17E+04	1,38E+05
30	249110,9107	6,32E+05	8,94E+05	6,82E+08	3,69E+08	3,13E+08	4,98E+09	1,89E+05	7,54E+04	1,13E+05
31	261773,6983	7,29E+05	9,10E+05	6,83E+08	3,69E+08	3,14E+08	4,98E+09	2,02E+05	8,08E+04	1,21E+05
32	271816,794	7,95E+05	9,25E+05	6,84E+08	3,70E+08	3,14E+08	4,98E+09	2,23E+05	8,93E+04	1,34E+05
33	280083,0956	8,43E+05	9,41E+05	6,85E+08	3,70E+08	3,15E+08	4,98E+09	2,45E+05	9,79E+04	1,47E+05
34	287089,6583	8,76E+05	9,59E+05	6,86E+08	3,71E+08	3,15E+08	4,98E+09	2,65E+05	1,06E+05	1,59E+05
35	277671,9343	8,45E+05	9,42E+05	6,87E+08	3,71E+08	3,16E+08	4,98E+09	2,82E+05	1,13E+05	1,69E+05
36	267964,1173	8,10E+05	9,24E+05	6,88E+08	3,72E+08	3,16E+08	4,98E+09	3,01E+05	1,20E+05	1,80E+05
37	258160,1587	7,74E+05	9,06E+05	6,89E+08	3,72E+08	3,16E+08	4,98E+09	3,19E+05	1,28E+05	1,91E+05
38	248382,709	7,37E+05	8,89E+05	6,90E+08	3,73E+08	3,17E+08	4,98E+09	3,36E+05	1,35E+05	2,02E+05
39	238709,4518	7,00E+05	8,72E+05	6,91E+08	3,73E+08	3,17E+08	4,98E+09	3,52E+05	1,41E+05	2,11E+05
40	229189,4308	6,27E+05	8,54E+05	6,91E+08	3,74E+08	3,18E+08	4,98E+09	3,67E+05	1,47E+05	2,20E+05
41	222955,8657	6,28E+05	8,37E+05	6,92E+08	3,74E+08	3,18E+08	4,98E+09	3,49E+05	1,40E+05	2,10E+05
42	215648,7219	6,14E+05	8,20E+05	6,93E+08	3,75E+08	3,18E+08	4,98E+09	3,52E+05	1,41E+05	2,11E+05
43	224532,8793	6,47E+05	8,46E+05	6,94E+08	3,75E+08	3,19E+08	4,98E+09	3,63E+05	1,45E+05	2,18E+05
44	232666,7085	6,74E+05	8,71E+05	6,94E+08	3,75E+08	3,19E+08	4,98E+09	3,72E+05	1,49E+05	2,23E+05
45	240177,2368	6,97E+05	8,97E+05	6,95E+08	3,76E+08	3,19E+08	4,98E+09	3,80E+05	1,52E+05	2,28E+05

**ANEXO III. CONTINUAÇÃO. INTERFACE DO MODELO HIDROCARBONO (MS EXCEL®)**

	CB	CC	CD	CE	CF	CG	CH	CI	CJ	CK	CL	CM	CN	CO	CP
15	EMPOWER INPUT	NA BACIA							VALORES EM MODULO PRA CALCULAR EMERGIA POR MASSA			TODOS OS FLUXOS APRESENTAM A MESMA EMERGIA POR MASSA			
16	Evapotransp (natural+agricultura)	F=M+S, agricultura			Acumulo (BC)	Acumulo (LDC)	Acumulo (SC)		Acumulo (BC)	Acumulo (LDC)	Acumulo (SC)		emergia massa (BC)	emergia massa (LDC)	emergia massa (SC)
17	sej/dia	sej/dia	TOTAL (sej/dia)		(tC / dia)	(tC / dia)	(tC / dia)		(tC / dia)	(tC / dia)	(tC / dia)		sej / tC	sej / tC	sej / tC
18	4,37E+16	0,00E+00	4,365E+16		-34,34	11,81	-34,48		3,434E+01	1,18E+01	3,45E+01		5,41E+14	5,41E+14	5,41E+14
19	7,65E+16	0,00E+00	7,65E+16		19,08	13,14	-39,73		1,908E+01	1,31E+01	3,97E+01		1,06E+15	1,06E+15	1,06E+15
20	1,50E+17	0,00E+00	1,50E+17		64,89	2,37	-46,21		6,489E+01	2,37E+00	4,62E+01		1,32E+15	1,32E+15	1,32E+15
21	1,01E+18	0,00E+00	1,01E+18		108,00	-19,22	-61,07		1,080E+02	1,92E+01	6,11E+01		5,39E+15	5,39E+15	5,39E+15
22	1,05E+17	0,00E+00	1,05E+17		155,85	-187,54	-298,69		1,558E+02	1,88E+02	2,99E+02		1,64E+14	1,64E+14	1,64E+14
23	3,74E+17	0,00E+00	3,74E+17		279,54	25,19	-239,14		2,795E+02	2,52E+01	2,39E+02		6,88E+14	6,88E+14	6,88E+14
24	9,05E+16	0,00E+00	9,05E+16		371,55	-14,67	-264,05		3,716E+02	1,47E+01	2,64E+02		1,39E+14	1,39E+14	1,39E+14
25	9,15E+16	0,00E+00	9,15E+16		475,52	19,91	-218,60		4,755E+02	1,99E+01	2,19E+02		1,28E+14	1,28E+14	1,28E+14
26	2,18E+17	0,00E+00	2,18E+17		556,49	19,23	-198,80		5,565E+02	1,92E+01	1,99E+02		2,82E+14	2,82E+14	2,82E+14
27	2,83E+17	0,00E+00	2,83E+17		617,57	-0,77	-202,01		6,176E+02	7,68E-01	2,02E+02		3,45E+14	3,45E+14	3,45E+14
28	5,10E+17	0,00E+00	5,10E+17		681,48	-14,18	-217,28		6,815E+02	1,42E+01	2,17E+02		5,58E+14	5,58E+14	5,58E+14
29	6,06E+16	0,00E+00	6,06E+16		755,27	-40,61	-269,07		7,553E+02	4,06E+01	2,69E+02		5,69E+13	5,69E+13	5,69E+13
30	4,92E+16	0,00E+00	4,92E+16		857,02	13,44	-238,84		8,570E+02	1,34E+01	2,39E+02		4,43E+13	4,43E+13	4,43E+13
31	4,61E+16	0,00E+00	4,61E+16		930,03	21,19	-221,99		9,300E+02	2,12E+01	2,22E+02		3,93E+13	3,93E+13	3,93E+13
32	4,25E+16	0,00E+00	4,25E+16		984,76	21,62	-211,71		9,848E+02	2,16E+01	2,12E+02		3,49E+13	3,49E+13	3,49E+13
33	3,88E+16	0,00E+00	3,88E+16		1027,17	19,96	-204,04		1,027E+03	2,00E+01	2,04E+02		3,10E+13	3,10E+13	3,10E+13
34	3,57E+16	0,00E+00	3,57E+16		1058,28	17,35	-199,20		1,058E+03	1,74E+01	1,99E+02		2,80E+13	2,80E+13	2,80E+13
35	3,32E+16	0,00E+00	3,32E+16		1009,73	18,65	-183,22		1,010E+03	1,86E+01	1,83E+02		2,74E+13	2,74E+13	2,74E+13
36	3,12E+16	0,00E+00	3,12E+16		959,10	18,34	-167,11		9,591E+02	1,83E+01	1,67E+02		2,73E+13	2,73E+13	2,73E+13
37	2,97E+16	0,00E+00	2,97E+16		907,75	17,31	-151,18		9,077E+02	1,73E+01	1,51E+02		2,76E+13	2,76E+13	2,76E+13
38	2,85E+16	0,00E+00	2,85E+16		856,51	16,01	-135,61		8,565E+02	1,60E+01	1,36E+02		2,83E+13	2,83E+13	2,83E+13
39	1,33E+17	0,00E+00	1,33E+17		805,93	14,67	-120,47		8,059E+02	1,47E+01	1,20E+02		1,41E+14	1,41E+14	1,41E+14
40	4,38E+16	0,00E+00	4,38E+16		756,32	-17,82	-111,72		7,563E+02	1,78E+01	1,12E+02		4,94E+13	4,94E+13	4,94E+13
41	3,88E+16	0,00E+00	3,88E+16		729,68	2,53	-103,97		7,297E+02	2,53E+00	1,04E+02		4,64E+13	4,64E+13	4,64E+13
42	3,50E+16	0,00E+00	3,50E+16		695,33	11,01	-92,75		6,953E+02	1,10E+01	9,28E+01		4,38E+13	4,38E+13	4,38E+13
43	3,20E+16	0,00E+00	3,20E+16		732,29	9,60	-95,00		7,323E+02	9,60E+00	9,50E+01		3,83E+13	3,83E+13	3,83E+13
44	2,98E+16	0,00E+00	2,98E+16		763,78	7,91	-97,35		7,638E+02	7,91E+00	9,73E+01		3,43E+13	3,43E+13	3,43E+13
45	8,80E+16	0,00E+00	8,80E+16		790,78	6,26	-99,76		7,908E+02	6,26E+00	9,98E+01		9,82E+13	9,82E+13	9,82E+13
46	9,09E+17	0,00E+00	9,09E+17		813,98	-12,62	-104,45		8,140E+02	1,26E+01	1,04E+02		9,77E+14	9,77E+14	9,77E+14

**ANEXO III. CONTINUAÇÃO. INTERFACE DO MODELO HIDROCARBONO (MS EXCEL®)**

	CJ	CK	CL	CM	CN	CO	CP	CQ	CR	CS	CT	CU	CV	CW	CX
15	VALORES EM MÓDULO PRA CALCULAR EMERGIA POR MASSA			TODOS OS FLUXOS APRESENTAM A MESMA EMERGIA POR MASSA			0,25								
16	Acumulo (BC)	Acumulo (LDC)	Acumulo (SC)		emergia massa (BC)	emergia massa (LDC)	emergia massa (SC)		emdolar massa (BC)	emdolar massa (LDC)	emdolar massa (SC)		emdolar servico (BC)	emdolar servico (LDC)	emdolar servico (SC)
17	(tc / dia)	(tc / dia)	(tc / dia)		sej / tc	sej / tc	sej / tc		EM\$ / tc	EM\$ / tc	EM\$ / tc		EM\$ na bacia	EM\$ na bacia	EM\$ na bacia
18	3,434E+01	1,18E+01	3,45E+01		5,41E+14	5,41E+14	5,41E+14		51,46	51,46	51,46		-1.618,16	556,53	-1.624,80
19	1,908E+01	1,31E+01	3,97E+01		1,06E+15	1,06E+15	1,06E+15		101,05	101,05	101,05		899,12	619,33	-1.871,91
20	6,489E+01	2,37E+00	4,62E+01		1,32E+15	1,32E+15	1,32E+15		125,73	125,73	125,73		3.057,83	111,55	-2.177,37
21	1,080E+02	1,92E+01	6,11E+01		5,39E+15	5,39E+15	5,39E+15		512,23	512,23	512,23		5.088,89	-905,70	-2.877,75
22	1,558E+02	1,88E+02	2,99E+02		1,64E+14	1,64E+14	1,64E+14		15,54	15,54	15,54		7.343,61	-8.836,77	-14.074,09
23	2,795E+02	2,52E+01	2,39E+02		6,88E+14	6,88E+14	6,88E+14		65,39	65,39	65,39		13.171,74	1.186,90	-11.268,36
24	3,716E+02	1,47E+01	2,64E+02		1,39E+14	1,39E+14	1,39E+14		13,23	13,23	13,23		17.507,60	-691,05	-12.442,19
25	4,755E+02	1,99E+01	2,19E+02		1,28E+14	1,28E+14	1,28E+14		12,19	12,19	12,19		22.406,29	938,18	-10.300,58
26	5,565E+02	1,92E+01	1,99E+02		2,82E+14	2,82E+14	2,82E+14		26,81	26,81	26,81		26.221,99	906,34	-9.367,38
27	6,176E+02	7,68E-01	2,02E+02		3,45E+14	3,45E+14	3,45E+14		32,84	32,84	32,84		29.099,97	-36,17	-9.518,86
28	6,815E+02	1,42E+01	2,17E+02		5,58E+14	5,58E+14	5,58E+14		53,08	53,08	53,08		32.111,39	-668,08	-10.238,12
29	7,553E+02	4,06E+01	2,69E+02		5,69E+13	5,69E+13	5,69E+13		5,41	5,41	5,41		35.588,22	-1.913,72	-12.678,42
30	8,570E+02	1,34E+01	2,39E+02		4,43E+13	4,43E+13	4,43E+13		4,22	4,22	4,22		40.383,02	633,19	-11.254,01
31	9,300E+02	2,12E+01	2,22E+02		3,93E+13	3,93E+13	3,93E+13		3,74	3,74	3,74		43.822,96	998,35	-10.459,94
32	9,848E+02	2,16E+01	2,12E+02		3,49E+13	3,49E+13	3,49E+13		3,31	3,31	3,31		46.401,66	1.018,71	-9.975,74
33	1,027E+03	2,00E+01	2,04E+02		3,10E+13	3,10E+13	3,10E+13		2,95	2,95	2,95		48.400,05	940,63	-9.614,30
34	1,058E+03	1,74E+01	1,99E+02		2,80E+13	2,80E+13	2,80E+13		2,66	2,66	2,66		49.866,19	817,70	-9.386,48
35	1,010E+03	1,86E+01	1,83E+02		2,74E+13	2,74E+13	2,74E+13		2,60	2,60	2,60		47.578,51	878,74	-8.633,40
36	9,591E+02	1,83E+01	1,67E+02		2,73E+13	2,73E+13	2,73E+13		2,59	2,59	2,59		45.192,93	864,23	-7.874,32
37	9,077E+02	1,73E+01	1,51E+02		2,76E+13	2,76E+13	2,76E+13		2,62	2,62	2,62		42.773,08	815,77	-7.123,81
38	8,565E+02	1,60E+01	1,36E+02		2,83E+13	2,83E+13	2,83E+13		2,69	2,69	2,69		40.358,88	754,43	-6.389,89
39	8,059E+02	1,47E+01	1,20E+02		1,41E+14	1,41E+14	1,41E+14		13,44	13,44	13,44		37.975,27	691,08	-5.676,44
40	7,563E+02	1,78E+01	1,12E+02		4,94E+13	4,94E+13	4,94E+13		4,70	4,70	4,70		35.637,62	-839,66	-5.264,04
41	7,297E+02	2,53E+00	1,04E+02		4,64E+13	4,64E+13	4,64E+13		4,41	4,41	4,41		34.382,55	118,98	-4.898,89
42	6,953E+02	1,10E+01	9,28E+01		4,38E+13	4,38E+13	4,38E+13		4,16	4,16	4,16		32.764,11	518,90	-4.370,55
43	7,323E+02	9,60E+00	9,50E+01		3,83E+13	3,83E+13	3,83E+13		3,64	3,64	3,64		34.505,63	452,27	-4.476,48
44	7,638E+02	7,91E+00	9,73E+01		3,43E+13	3,43E+13	3,43E+13		3,26	3,26	3,26		35.989,47	372,50	-4.587,01
45	7,908E+02	6,26E+00	9,98E+01		9,82E+13	9,82E+13	9,82E+13		9,33	9,33	9,33		37.261,55	294,96	-4.700,62
46	8,140E+02	1,26E+01	1,04E+02		9,77E+14	9,77E+14	9,77E+14		92,85	92,85	92,85		38.354,81	-594,57	-4.921,70

#### **ANEXO IV. MÉTODO DE TENNANT**

Esse anexo é uma transcrição de dois parágrafos do texto de Sarmiento (2007). Em 1975 foi desenvolvido o Método de Tennant ou de Montana (Tennant, 1976) que Tennant definiu o ecossistema fluvial em função da vazão, expressa em porcentagem, com relação à vazão média anual do rio, calculado para o local do aproveitamento hidráulico. O método recomenda uma vazão ecológica baseada num conjunto de percentagens em relação à vazão média anual, calculada para o local do aproveitamento hidráulico, recorrendo-se a diferentes percentagens para os períodos de Outubro a Março e Abril a Setembro. A correta aplicação deste método envolve as seguintes etapas: i) determinação da vazão média anual no local do aproveitamento hidráulico; ii) observação do curso d'água durante os períodos em que a vazão no mesmo é aproximadamente igual a 10%, 30% e 60% da vazão média anual, documentando-o com fotografias dos vários tipos de habitat característicos e; iii) utilização da informação obtida para elaborar recomendações. Contudo, na prática, a aplicação do Método de Tennant raramente envolve o reconhecimento de campo, sendo a recomendação de vazões baseada unicamente na tabela desenvolvida por Tennant de vazões ecológicas.

Tabela 31. Regimes de vazão recomendada pelo método de Tennant

<b>Vazão ecológica</b>	<b>Vazão Recomendada</b>	
	Abril-Setembro	Outubro – Março
Lavagem ou máxima		200%
Ótima		60-100%
Excelente	60%	40%
Muito bom	50%	30%
Bom	40%	20%
Fraco ou degradante	30%	10%
Pobre ou mínima	10%	10%
Degradação elevada		0-10%

(fonte: SARMENTO, 2007)

A metodologia descreve que uma vazão correspondente a 10% da vazão média anual é a suficiente para sustentar uma pequena condição de habitat para os peixes, pois a largura do leito, a profundidade e a velocidade do escoamento são significativamente reduzidas, a temperatura da água pode subir tornando-se um fator limitante para algumas

espécies principalmente durante os meses de verão, as populações de macroinvertebrados são bastante afetadas, podendo por em risco a produção piscícola do curso d'água e a vegetação ripícola poderá ficar sujeita a estresse hídrico. Uma vazão correspondente a 30% da vazão média anual mantém uma boa qualidade de habitat. A largura do leito, a profundidade e a velocidade do escoamento, bem como a temperatura, são mantidos a níveis satisfatórios para a maior parte das espécies, as populações de macroinvertebrados são afetadas, mas em níveis que não porão em risco a produtividade piscícola e a vegetação ripícola não é afetada. Uma vazão correspondente entre 60 a 100% promove uma excelente condição de habitat para a maioria das formas de vida aquática e dos usos previstos (MOHTARD, 1986, apud. SARMENTO, 2007). No caso da vazão máxima, um valor acima de 200% da vazão média anual, "flushing", ou de lavagem, representaria um prejuízo para o ecossistema aquático, devido a mudanças de fatores como velocidade da corrente, concentração de nutrientes, perda de solo no leito do rio, além de todos os demais fatores cujas alterações em suas magnitudes possam afetar negativamente o estado de homeostase do ecossistema aquático.

**ANEXO V. CÁLCULO DA DIMENSÃO MÉDIA DOS CANAIS DA BACIA DO TAQUARIZINHO**

Cálculo do volume do Canal Taquarizinho				
Ponto	Largura canal (m)	Profundidade canal (m)	Comprimento trecho (m)	Volume trecho (m3)
Nascente	1,2	0,3		
<i>Interpol. Nascente-Matadeira</i>	3,6	0,37	12000	15984
antes do Corrego Matadeira	6	0,44		
depois Corrego Matadeira	6	0,44		
<i>Interpol. Matadeira-Boa sentença</i>	7,88	0,33	11000	28586
antes do Corrego Boa Sentença	9,75	0,22		
do Corrego Boa Sentença	9,75	0,22		
<i>Interpol. Boa Sentença- Palha</i>	12,38	0,39	12000	57915
antes do Corrego Palha	15	0,56		
m. Corrego Palha	15	0,56		
<i>Interpol. Palha - ANA</i>	18,75	0,46	15000	129375
estacao ANA	22,5	0,36		
Fonte: Ide e Ribeiro, 2009				
			<b>Volume estimado Taquarizinho (m3)</b>	<b>231860</b>
			Largura média (m)	10,65
			Comprimento estimado (m)	50000
			Profundidade estimada (m)	0,44
Dimensões médias dos contribuintes (Afluentes)				
Nome	Largura média (m)	Profundidade média (m)	Área transversal (m2)	
<b>Rio Taquarizinho</b>	<b>10,65</b>	<b>0,44</b>	-	
Córrego Matadeira	7,4	0,55	4,05	
Córrego Boa Sentença	11	0,45	4,91	
Córrego Palha	7,15	0,38	2,75	
<b>Média dos canais estudados</b>	<b>9,05</b>	<b>0,45</b>		

**ANEXO VI. IMAGENS DA BACIA DO TAQUARIZINHO**



Figura 18. Nascente do rio Taquarizinho.



Figura 19. Exutório do rio Taquarizinho



Figura 20. Agricultura de plantio direto.



Figura 21. Área de Cerrado Nativo.



Figura 22. Área de pastagem com manejo.



Figura 23. Área de pastagem sem manejo.

## ANEXO VII. TABELAS COM VALORES DE CALIBRAÇÃO DOS CENÁRIOS

Tabela 32. Fatores da equação USLE baseado em Bacchi (2007) adequados para ocupação em cenário 1a (Predomínio Agricultura).

Sub-bacia	Uso	Área (km <sup>2</sup> )	R	K	C	P	L.S	A (ton/ha/ano)	Perda(ton/ano)	% Perda
1e	agricultura	12,47	7030	0,016	0,1415	0,2	0,49	1,55976016	1945,02092	0,400%
1d	agricultura	6,73	7030	0,016	0,1415	0,2	0,42	1,33693728	899,7587894	0,185%
2e	agricultura	8,63	7030	0,016	0,1415	0,2	2,57	8,18078288	7060,015625	1,453%
2d	agricultura	2,67	7030	0,016	0,1415	0,2	2,72	8,65826048	2311,755548	0,476%
3e	agricultura	6,54	7030	0,016	0,1415	0,2	3,87	12,31892208	8056,57504	1,659%
3d	agricultura	1,08	7030	0,016	0,1415	0,2	1,84	5,85705856	632,5623245	0,130%
4e	agricultura	15,08	7030	0,016	0,1415	0,2	0,91	2,89669744	4368,21974	0,899%
4d	agricultura	8,85	7030	0,016	0,1415	0,2	1,05	3,3423432	2957,973732	0,609%
5e	agricultura	8,84	7030	0,016	0,1415	0,2	1,04	3,31051136	2926,492042	0,602%
5d	agricultura	8,72	7030	0,016	0,1415	0,2	2,69	8,56276496	7466,731045	1,537%
6e	agricultura	12,45	7030	0,016	0,1415	0,2	2,2	7,0030048	8718,740976	1,795%
6d	agricultura	3,55	7030	0,016	0,1415	0,2	1,35	4,2972984	1525,540932	0,314%
7e	nativa	3,31	7030	0,016	0,003	1	2,59	1,456616	482,139896	0,099%
7d	agricultura	3,63	7030	0,016	0,1415	0,2	2,34	7,44865056	2703,860153	0,557%
8e	nativa	7,65	7030	0,005	0,003	1	10,15	1,0703175	818,7928875	0,169%
8d	agricultura	2,4	7030	0,016	0,1415	0,2	4,5	14,324328	3437,83872	0,708%
9e	nativa	5,96	7030	0,005	0,003	1	16,83	1,7747235	1057,735206	0,218%
9d	nativa	1,95	7030	0,005	0,003	1	5,75	0,6063375	118,2358125	0,024%
10e	nativa	4,92	7030	0,045	0,003	1	2,19	2,0784195	1022,582394	0,211%
10d	agricultura	1,54	7030	0,045	0,1415	0,2	3,87	34,64696835	5335,633126	1,098%
11e	agricultura	5,42	7030	0,045	0,1415	0,2	5,88	52,6419054	28531,91273	5,874%
11d	agricultura	6,09	7030	0,045	0,1415	0,2	2,45	21,93412725	13357,8835	2,750%
12e	agricultura	9,66	7030	0,045	0,1415	0,2	4,38	39,2128479	37879,61107	7,798%
12d	agricultura	4,92	7030	0,005	0,1415	0,2	2,85	2,83502325	1394,831439	0,287%
13e	agricultura	11,19	7030	0,045	0,1415	0,2	6,32	56,5810956	63314,24598	13,035%
13d	nativa	9,79	7030	0,005	0,003	1	6,62	0,698079	683,419341	0,141%
14e	agricultura	3,28	7030	0,045	0,1415	0,2	3,18	28,4696019	9338,029423	1,922%
14d	agricultura	7,81	7030	0,005	0,1415	0,2	8,38	8,3359631	6510,387181	1,340%
15e	agricultura	4,61	7030	0,045	0,1415	0,2	6,83	61,14697515	28188,75554	5,803%
15d	agricultura	6,26	7030	0,045	0,1415	0,2	4,32	38,6756856	24210,97919	4,984%
16e	agricultura	18,45	7030	0,045	0,1415	0,2	8,78	78,6047499	145025,7636	29,857%
16d	agricultura	27,01	7030	0,045	0,1415	0,2	4,03	6,3744525	17217,3962	3,545%
17e	nativa	20,37	7030	0,045	0,003	1	11,26	17,810505	36279,99869	7,469%

Tabela 32. Cont. Fatores da equação USLE baseado em Bacchi (2007) adequados para ocupação em cenário 1a (Predomínio Agricultura).

Sub-bacia	Uso	Área (km <sup>2</sup> )	R	K	C	P	L.S	A (ton/ha/ano)	Perda(ton/ano)	% Perda
17d	agricultura	13,64	7030	0,045	0,1415	0,2	0,58	5,1925689	7082,66398	1,458%
18e	agricultura	6,52	7030	0,045	0,1415	0,2	0,87	7,78885335	5078,332384	1,045%
18d	agricultura	5,6	7030	0,045	0,1415	0,2	4,21	37,69088805	21106,89731	4,345%
19e	nativa	5,19	7030	0,005	0,003	1	8	0,8436	437,8284	0,090%
19d	agricultura	4,92	7030	0,005	0,1415	0,2	8,2	8,156909	4013,199228	0,826%
20e	agricultura	13,93	7030	0,045	0,1415	0,2	3,37	30,17061585	42027,66788	8,652%
20d	agricultura	15,69	7030	0,045	0,1415	0,2	11,26	100,8074583	158166,9021	32,562%
21e	agricultura	10,96	7030	0,045	0,1415	0,2	9,23	82,63346715	90566,28	18,645%
21d	agricultura	2,06	7030	0,045	0,1415	0,2	1,26	11,2804083	2323,76411	0,478%
22e	agricultura	4,42	7030	0,045	0,1415	0,2	1,78	15,9358149	7043,630186	1,450%
22d	agricultura	5,38	7030	0,045	0,1415	0,2	4,95	44,31588975	23841,94869	4,908%
23e	agricultura	1,6	7030	0,045	0,1415	0,2	1,9	17,0101395	2721,62232	0,560%
23d	agricultura	1,85	7030	0,045	0,1415	0,2	3,88	34,7364954	6426,251649	1,323%
24e	agricultura	14,66	7030	0,045	0,1415	0,2	3,47	31,06588635	45542,58939	9,376%
24d	agricultura	12,58	7030	0,045	0,1415	0,2	5,15	46,10643075	58001,88988	11,941%
25e	nativa	15,04	7030	0,005	0,003	1	7,04	0,742368	1116,521472	0,230%
25d	agricultura	7,39	7030	0,045	0,1415	0,2	4,23	37,86994215	27985,88725	5,761%
26e	nativa	12,54	7030	0,045	0,003	1	8,53	8,0953965	10151,62721	2,090%
26d	agricultura	2,25	7030	0,005	0,1415	0,2	4,16	4,1381392	931,08132	0,192%
27e	agricultura	3,02	7030	0,016	0,1415	0,2	5,4	17,1891936	5191,136467	1,069%
27d	agricultura	5,05	7030	0,016	0,1415	0,2	3,08	9,80420672	4951,124394	1,019%
28e	agricultura	5,36	7030	0,005	0,1415	0,2	4,3	4,2774035	2292,688276	0,472%
28d	agricultura	1,88	7030	0,005	0,1415	0,2	2,72	2,7057064	508,6728032	0,105%
29e	agricultura	3,06	7030	0,005	0,1415	0,2	4,67	4,64545915	1421,5105	0,293%
29d	agricultura	2,04	7030	0,005	0,1415	0,2	3,26	3,2428687	661,5452148	0,136%
30e	agricultura	2,77	7030	0,045	0,1415	0,2	2,84	25,4256822	7042,913969	1,450%
30d	agricultura	6,14	7030	0,045	0,1415	0,2	2,71	24,26183055	14896,76396	3,067%
31e	agricultura	9,14	7030	0,032	0,1415	0,2	4,93	31,38619424	28686,98154	5,906%
31d	agricultura	6,22	7030	0,032	0,1415	0,2	1,79	11,39579872	7088,186804	1,459%
32e	agricultura	15,95	7030	0,032	0,1415	0,2	3,88	24,70150784	39398,905	8,111%
32d	agricultura	9,98	7030	0,032	0,1415	0,2	3,98	25,33814464	25287,46835	5,206%
33e	agricultura	0,36	7030	0,005	0,1415	0,2	2,16	2,1486492	77,3513712	0,016%
33d	agricultura	5,76	7030	0,005	0,1415	0,2	1,21	1,20364145	693,2974752	0,143%
<b>Total</b>		<b>494,78</b>						<b>24,48</b>	<b>1.211.024,38</b>	<b>100%</b>

Tabela 33. Descrição das informações de entradas, fluxos e estoques para calibração para cenário 1a, predomínio de agricultura.

Nota	Descrição	Variável	Calibração			Referência
			Valor	Unidade	Valor de k	
<b>Entradas</b>						
1	Precipitação	R	1396	mm.ano <sup>-1</sup>		ANA (2011)
2	Luz solar	S	1	adimensional		Tilley e Brown (2006)
3	Escoamento de base	CF+GW	3,97 E5	m <sup>3</sup> .d <sup>-1</sup>		ANA (2011)
4	Temperatura	T	30,1	°C		ORNL DAAC (2010)
5	Índice de área foliar	LAI	1,25	adimensional		ORNL DAAC (2010)
<b>Fluxos</b>						
6	Volume de chuva precipitada	J2	1,91 E6	m <sup>3</sup> .d <sup>-1</sup>	1	ANA (2011)
7	Escoamento superficial	J4	1,90 E5	m <sup>3</sup> .d <sup>-1</sup>	5,81 E-9	Barsanti et al. (2003)
8	Ação da capilaridade vertical	J5	4,99 E3	m <sup>3</sup> .d <sup>-1</sup>	8,44 E-5	Tilley e Brown (2006)
9	Infiltração no solo	J7	1,02 E6	m <sup>3</sup> .d <sup>-1</sup>	1,78 E-1	Balanço, J2+J5-J4-J8
10	Evaporação no terreno	J8	6,98 E5	m <sup>3</sup> .d <sup>-1</sup>	1,88 E-1	ORNL DAAC (2010)
11	Evaporação no canal	J9	1,13 E4	m <sup>3</sup> .d <sup>-1</sup>	1,71 E-2	ORNL DAAC (2010)
12	Ação da capilaridade vertical	J10	4,99 E3	m <sup>3</sup> .d <sup>-1</sup>	5,88 E-5	Tilley e Brown (2006)
13	Insolação no terreno	JR	0,65	adimensional	-	Tilley e Brown (2006)
14	Percolação para o lençol	J11	7,45 E5	m <sup>3</sup> .d <sup>-1</sup>	1,15 E-2	Balanço, J7-J13
15	Produção bruta terrestre	J12	9,71 E5	kg.d <sup>-1</sup>	1,89 E-11	ORNL DAAC (2010)
16	Transpiração terrestre	J13	2,74 E5	m <sup>3</sup> .d <sup>-1</sup>	6,66 E-12	ORNL DAAC (2010)
17	Perda de biomassa terrestre	J14	5,03 E5	kg.d <sup>-1</sup>	-	Modelo hidro-carbono
18	Saída do aquífero superficial	J15	7,34 E5	m <sup>3</sup> .d <sup>-1</sup>	4,90 E-3	Balanço, entrada=sáida
19	Troca aquífero/canal	J16	4,99 E3	m <sup>3</sup> .d <sup>-1</sup>	-1,14 E-3	Tilley e Brown (2006)
20	Descarga do canal (linear)	J18	2,94 E5	m <sup>3</sup> .d <sup>-1</sup>	2,89 E-1	Assumiu-se 50% descarga
21	Descarga do canal (quadrática)	J19	2,94 E5	m <sup>3</sup> .d <sup>-1</sup>	2,84 E-7	Assumiu-se 50% descarga

Tabela 33. *Cont. Descrição das informações de entradas, fluxos e estoques para calibração para cenário 1a, predomínio de agricultura.*

Nota	Descrição	Variável	Calibração		Referência	
			Valor	Unidade		
22	Fotossíntese (GPP)	J20	4,86 E5	kgC d <sup>-1</sup>	2,36 E-11	ORNL DAAC (2010)
23	Respir. Autótrofa	J21	1,12 E5	kgC d <sup>-1</sup>	2,66 E-5	Estimado por NPP, ORNL DAAC (2010)
24	Produção de LDC	J22	1,39 E5	kgC d <sup>-1</sup>	3,56 E-4	Estim., Parron, Bustamante e Prado (2004)
25	Carb. LDC p/ solo	J23	8,72 E4	kgC d <sup>-1</sup>	4,80 E-6	Balanço, J23=J22-J24
26	Respiração LDC	J24	4,17 E4	kgC d <sup>-1</sup>	6,12 E-10	Estimado, Lapola (2007)
27	Respiração solo	J25	2,16 E5	kgC d <sup>-1</sup>	4,68 E-13	J25=NCE-(J20+J26-J22-J23-J24 -J27-J28-J29)
28	Oxidação metano	J26	4,78 E2	kgC d <sup>-1</sup>	1,26 E5	Estimado, Cardoso et al. (2001)
29	Runoff carbono	J27	1,92 E4	kgC d <sup>-1</sup>	2,02 E-11	USLE, Goedert (1985)
Estoques						
30	Biomassa terrestre por m <sup>2</sup>	BU	9,77 E8	kg	-	Bustamante et al.(2006), Fearnside (1996), e Cavalett (2008)
			1,96	kg.m <sup>-2</sup>	-	
	Carbono biomassa aéreo subterrânea	BC AGBC BGBC	4,89 E8	kg C	-	Batle-Bayer, Batjes e Bindraban (2010)
			2,79 E8	kg C	-	Batle-Bayer, Batjes e Bindraban (2010)
			2,10 E8	kg C	-	Brossard et al. (1997), Braz et al. (2004)
31	Carbono do solo	SC	4,99 E9	kg C	-	Aduan, Klink e Davidson (2002)
32	Carbono liteira Liteira acima solo	LDC LC	3,74 E5	kg C	-	Estimado, Batle-Bayer, Batjes e Bindraban (2010)
			1,50 E5	kg C	-	
33	Detrito subterrâneo Estoque superficial	DC SD	2,24 E5	kg C	-	Estimado, Tilley e Brown (2006)
			5,72 E6	m <sup>3</sup>	-	
34	profundidade média Umidade do solo	USM	11,48	mm	-	ANA (2011)
			6,48 E7	m <sup>3</sup>	-	
	profundidade média		130	mm	-	Inmet (2010)
35	Volume do lençol profundidade média	SA	1,50 E8	m <sup>3</sup>	-	Girard et al. (2003), Manzione (2007)
			2	m	-	
36	porosidade média Água nos Canais Comprimento total	CW	15	%	-	Estimado Gastmans et al. (2010) Embrapa CNPTIA (2011) Embrapa CNPTIA (2011) Ide e Ribeiro (2009) Ide e Ribeiro (2009) Embrapa CNPTIA (2011)
			1,02 E6	m <sup>3</sup>	-	
			249.673	m	-	
			0,45	m	-	
37	largura Área da bacia Mata Nativa Agricultura Pastagens	AU AN AA AP	9,05	m	-	Assumido Assumido Assumido Assumido
			498.514.329	m <sup>2</sup>	-	
			99.702.865	m <sup>2</sup>	-	
			398.811.464	m <sup>2</sup>	-	
			0	m <sup>2</sup>	-	

Tabela 34. Fatores da equação USLE baseado em Bacchi (2007) adequados para ocupação em cenário 2a (Predomínio Pastagens).

Sub-bacia	Uso	Área (km <sup>2</sup> )	R	K	C	P	L.S	A (ton/ha/ano)	Perda(ton/ano)	% Perda
1e	pastagens	12,47	7030	0,016	0,011	1	0,49	0,6062672	756,0151984	0,400%
1d	pastagens	6,73	7030	0,016	0,011	1	0,42	0,5196576	349,7295648	0,185%
2e	pastagens	8,63	7030	0,016	0,011	1	2,57	3,1798096	2744,175685	1,453%
2d	pastagens	2,67	7030	0,016	0,011	1	2,72	3,3654016	898,5622272	0,476%
3e	pastagens	6,54	7030	0,016	0,011	1	3,87	4,7882736	3131,530934	1,659%
3d	pastagens	1,08	7030	0,016	0,011	1	1,84	2,2765952	245,8722816	0,130%
4e	pastagens	15,08	7030	0,016	0,011	1	0,91	1,1259248	1697,894598	0,899%
4d	pastagens	8,85	7030	0,016	0,011	1	1,05	1,299144	1149,74244	0,609%
5e	pastagens	8,84	7030	0,016	0,011	1	1,04	1,2867712	1137,505741	0,602%
5d	pastagens	8,72	7030	0,016	0,011	1	2,69	3,3282832	2902,26295	1,537%
6e	pastagens	12,45	7030	0,016	0,011	1	2,2	2,722016	3388,90992	1,795%
6d	pastagens	3,55	7030	0,016	0,011	1	1,35	1,670328	592,96644	0,314%
7e	nativa	3,31	7030	0,016	0,011	1	2,59	3,2045552	1060,707771	0,099%
7d	pastagens	3,63	7030	0,016	0,011	1	2,34	2,8952352	1050,970378	0,557%
8e	nativa	7,65	7030	0,005	0,003	1	10,15	1,0703175	818,7928875	0,169%
8d	pastagens	2,4	7030	0,016	0,011	1	4,5	5,56776	1336,2624	0,708%
9e	nativa	5,96	7030	0,005	0,003	1	16,83	1,7747235	1057,735206	0,218%
9d	nativa	1,95	7030	0,005	0,003	1	5,75	0,6063375	118,2358125	0,024%
10e	nativa	4,92	7030	0,045	0,003	1	2,19	2,0784195	1022,582394	0,211%
10d	pastagens	1,54	7030	0,045	0,011	1	3,87	13,4670195	2073,921003	1,098%
11e	pastagens	5,42	7030	0,045	0,011	1	5,88	20,461518	11090,14276	5,874%
11d	pastagens	6,09	7030	0,045	0,011	1	2,45	8,5256325	5192,110193	2,750%
12e	pastagens	9,66	7030	0,045	0,011	1	4,38	15,241743	14723,52374	7,798%
12d	pastagens	4,92	7030	0,005	0,011	1	2,85	1,1019525	542,16063	0,287%
13e	pastagens	11,19	7030	0,045	0,011	1	6,32	21,992652	24609,77759	13,035%
13d	nativa	9,79	7030	0,005	0,003	1	6,62	0,698079	683,419341	0,141%
14e	pastagens	3,28	7030	0,045	0,011	1	3,18	11,065923	3629,622744	1,922%
14d	pastagens	7,81	7030	0,005	0,011	1	8,38	3,240127	2530,539187	1,340%
15e	pastagens	4,61	7030	0,045	0,011	1	6,83	23,7673755	10956,76011	5,803%
15d	pastagens	6,26	7030	0,045	0,011	1	4,32	15,032952	9410,627952	4,984%
16e	pastagens	18,45	7030	0,045	0,011	1	8,78	30,553083	56370,43814	29,857%
16d	pastagens	27,01	7030	0,045	0,011	1	4,03	14,0237955	37878,27165	3,545%
17e	nativa	20,37	7030	0,045	0,003	1	11,26	10,686303	21767,99921	7,469%

Tabela 34. Cont. Fatores da equação USLE baseado em Bacchi (2007) adequados para ocupação em cenário 2a (Predomínio Pastagens).

Sub-bacia	Uso	Área (km <sup>2</sup> )	R	K	C	P	L.S	A (ton/ha/ano)	Perda(ton/ano)	% Perda
17d	pastagens	13,64	7030	0,045	0,011	1	0,58	2,018313	2752,978932	1,458%
18e	pastagens	6,52	7030	0,045	0,011	1	0,87	3,0274695	1973,910114	1,045%
18d	pastagens	5,6	7030	0,045	0,011	1	4,21	14,6501685	8204,09436	4,345%
19e	nativa	5,19	7030	0,005	0,003	1	8	0,8436	437,8284	0,090%
19d	pastagens	4,92	7030	0,005	0,011	1	8,2	3,17053	1559,90076	0,826%
20e	pastagens	13,93	7030	0,045	0,011	1	3,37	11,7270945	16335,84264	8,652%
20d	pastagens	15,69	7030	0,045	0,011	1	11,26	39,183111	61478,30116	32,562%
21e	pastagens	10,96	7030	0,045	0,011	1	9,23	32,1190155	35202,44099	18,645%
21d	pastagens	2,06	7030	0,045	0,011	1	1,26	4,384611	903,229866	0,478%
22e	pastagens	4,42	7030	0,045	0,011	1	1,78	6,194133	2737,806786	1,450%
22d	pastagens	5,38	7030	0,045	0,011	1	4,95	17,2252575	9267,188535	4,908%
23e	pastagens	1,6	7030	0,045	0,011	1	1,9	6,611715	1057,8744	0,560%
23d	pastagens	1,85	7030	0,045	0,011	1	3,88	13,501818	2497,83633	1,323%
24e	pastagens	14,66	7030	0,045	0,011	1	3,47	12,0750795	17702,06655	9,376%
24d	pastagens	12,58	7030	0,045	0,011	1	5,15	17,9212275	22544,9042	11,941%
25e	nativa	15,04	7030	0,005	0,003	1	7,04	0,742368	1116,521472	0,230%
25d	pastagens	7,39	7030	0,045	0,011	1	4,23	14,7197655	10877,9067	5,761%
26e	nativa	12,54	7030	0,045	0,003	1	8,53	8,0953965	10151,62721	2,090%
26d	pastagens	2,25	7030	0,005	0,011	1	4,16	1,608464	361,9044	0,192%
27e	pastagens	3,02	7030	0,016	0,011	1	5,4	6,681312	2017,756224	1,069%
27d	pastagens	5,05	7030	0,016	0,011	1	3,08	3,8108224	1924,465312	1,019%
28e	pastagens	5,36	7030	0,005	0,011	1	4,3	1,662595	891,15092	0,472%
28d	pastagens	1,88	7030	0,005	0,011	1	2,72	1,051688	197,717344	0,105%
29e	pastagens	3,06	7030	0,005	0,011	1	4,67	1,8056555	552,530583	0,293%
29d	pastagens	2,04	7030	0,005	0,011	1	3,26	1,260479	257,137716	0,136%
30e	pastagens	2,77	7030	0,045	0,011	1	2,84	9,882774	2737,528398	1,450%
30d	pastagens	6,14	7030	0,045	0,011	1	2,71	9,4303935	5790,261609	3,067%
31e	pastagens	9,14	7030	0,032	0,011	1	4,93	12,1995808	11150,41685	5,906%
31d	pastagens	6,22	7030	0,032	0,011	1	1,79	4,4294624	2755,125613	1,459%
32e	pastagens	15,95	7030	0,032	0,011	1	3,88	9,6012928	15314,06202	8,111%
32d	pastagens	9,98	7030	0,032	0,011	1	3,98	9,8487488	9829,051302	5,206%
33e	pastagens	0,36	7030	0,005	0,011	1	2,16	0,835164	30,065904	0,016%
33d	pastagens	5,76	7030	0,005	0,011	1	1,21	0,4678465	269,479584	0,143%
<b>Total</b>		<b>494,78</b>						<b>9,86</b>	<b>487.800,68</b>	<b>100%</b>

Tabela 35. Descrição das informações de entradas, fluxos e estoques para calibração para cenário 2, predomínio de pastagens.

Nota	Descrição	Variável	Calibração			Referência
			Valor	Unidade	Valor de k	
<b>Entradas</b>						
1	Precipitação	R	1396	mm.ano <sup>-1</sup>		ANA (2011)
2	Luz solar	S	1	adimensional		Tilley e Brown (2006)
3	Escoamento de base	CF+GW	3,97 E5	m <sup>3</sup> .d <sup>-1</sup>		ANA (2011)
4	Temperatura	T	30,1	°C		ORNL DAAC (2010)
5	Índice de área foliar	LAI	1,25	adimensional		ORNL DAAC (2010)
<b>Fluxos</b>						
6	Volume de chuva precipitada	J2	1,91 E6	m <sup>3</sup> .d <sup>-1</sup>	1	ANA (2011)
7	Escoamento superficial	J4	7,66 E4	m <sup>3</sup> .d <sup>-1</sup>	2,34 E-9	Barsanti et al. (2003)
8	Ação da capilaridade vertical	J5	4,99 E3	m <sup>3</sup> .d <sup>-1</sup>	8,44 E-5	Tilley e Brown (2006)
9	Infiltração no solo	J7	1,17 E6	m <sup>3</sup> .d <sup>-1</sup>	2,04 E-1	Balanço, J2+J5-J4-J8
10	Evaporação no terreno	J8	6,63 E5	m <sup>3</sup> .d <sup>-1</sup>	1,78 E-1	ORNL DAAC (2010)
11	Evaporação no canal	J9	1,13 E4	m <sup>3</sup> .d <sup>-1</sup>	1,71 E-2	ORNL DAAC (2010)
12	Ação da capilaridade vertical	J10	4,99 E3	m <sup>3</sup> .d <sup>-1</sup>	5,88 E-5	Tilley e Brown (2006)
13	Insolação no terreno	JR	0,65	adimensional	-	Tilley e Brown (2006)
14	Percolação para o lençol	J11	8,58 E5	m <sup>3</sup> .d <sup>-1</sup>	1,32 E-2	Balanço, J7-J13
15	Produção bruta terrestre	J12	8,73 E5	kg.d <sup>-1</sup>	1,51 E-11	ORNL DAAC (2010)
16	Transpiração terrestre	J13	3,09 E5	m <sup>3</sup> .d <sup>-1</sup>	6,69 E-12	ORNL DAAC (2010)
17	Perda de biomassa terrestre	J14	4,75 E5	kg.d <sup>-1</sup>	-	Modelo hidro-carbono
18	Saída do aquífero superficial	J15	8,47 E5	m <sup>3</sup> .d <sup>-1</sup>	5,66 E-3	Balanço, entrada=sáida
19	Troca aquífero/canal	J16	4,99 E3	m <sup>3</sup> .d <sup>-1</sup>	-1,14 E-3	Tilley e Brown (2006)
20	Descarga do canal (linear)	J18	2,37 E5	m <sup>3</sup> .d <sup>-1</sup>	2,33 E-1	Assumiu-se 50% descarga
21	Descarga do canal (quadrática)	J19	2,37 E5	m <sup>3</sup> .d <sup>-1</sup>	2,29 E-7	Assumiu-se 50% descarga

Tabela 35. Cont. Descrição das informações de entradas, fluxos e estoques para calibração para cenário 2, predomínio de pastagens.

Nota	Descrição	Variável	Calibração			Referência
			Valor	Unidade	Valor de k	
22	Fotossíntese (GPP)	J20	4,36 E5	kgC d <sup>-1</sup>	1,89 E-11	ORNL DAAC (2010)
23	Respir. Autótrofa	J21	6,30 E4	kgC d <sup>-1</sup>	8,20 E-6	Estimado por NPP, ORNL DAAC (2010)
24	Produção de LDC	J22	1,74 E5	kgC d <sup>-1</sup>	3,98 E-4	Estimado, Aduan, Klink e Davidson (2002)
25	Carb. LDC p/ solo	J23	1,22 E5	kgC d <sup>-1</sup>	1,87 E-6	Balanço, J23=J22-J24
26	Respiração LDC	J24	5,23 E4	kgC d <sup>-1</sup>	7,67 E-10	Estimado, Lapola (2007)
27	Respiração solo	J25	1,92 E5	kgC d <sup>-1</sup>	4,16 E-13	J25=NCE-(J20+J26-J22-J23-J24 -J27-J28-J29)
28	Oxidação metano	J26	4,78 E2	kgC d <sup>-1</sup>	1,26 E5	Estimado, Cardoso et al. (2001)
29	Runoff carbono	J27	7,77 E3	kgC d <sup>-1</sup>	2,04 E-11	USLE, Goedert (1985)
Estoques						
30	Biomassa terrestre por m <sup>2</sup>	BU	1,10 E9	kg	-	Bustamante et al.(2006), Fearnside (1996), e Cavalett (2008)
			2,20	kg.m <sup>-2</sup>	-	
	Carbono biomassa aéreo	BC	5,48 E8	kg C	-	-
	subterrânea	AGBC	3,43 E8	kg C	-	Battle-Bayer, Batjes e Bindraban (2010)
		BGBC	2,05 E8	kg C	-	Battle-Bayer, Batjes e Bindraban (2010)
31	Carbono do solo	SC	4,99 E9	kg C	-	Brossard et al. (1997), Braz et al. (2004)
32	Carbono liteira	LDC	3,74 E5	kg C	-	Aduan, Klink e Davidson (2002)
	Liteira acima solo	LC	1,50 E5	kg C	-	Estimado, Battle-Bayer, Batjes e Bindraban (2010)
	Detrito subterrâneo	DC	2,24 E5	kg C	-	
33	Estoque superficial	SD	5,72 E6	m <sup>3</sup>	-	Estimado, Tilley e Brown (2006)
	profundidade média		11,48	mm	-	ANA (2011)
34	Umidade do solo	USM	6,48 E7	m <sup>3</sup>	-	-
	profundidade média		130	mm	-	Inmet (2010)
35	Volume do lençol	SA	1,50 E8	m <sup>3</sup>	-	Girard et al. (2003), Manzione (2007)
	profundidade média		2	m	-	Estimado
	porosidade média		15	%	-	Gastmans et al. (2010)
36	Água nos Canais	CW	1,02 E6	m <sup>3</sup>	-	Embrapa CNPTIA (2011)
	Comprimento total		249.673	m	-	Embrapa CNPTIA (2011)
	profundidade		0,45	m	-	Ide e Ribeiro (2009)
	largura		9,05	m	-	Ide e Ribeiro (2009)
37	Área da bacia	AU	498.514.329	m <sup>2</sup>	-	Embrapa CNPTIA (2011)
	Mata Nativa	AN	99.702.865	m <sup>2</sup>	-	Assumido
	Agricultura	AA	0	m <sup>2</sup>	-	Assumido
	Pastagens	AP	398.811.464	m <sup>2</sup>	-	Assumido

Tabela 36. Fatores da equação USLE baseado em Bacchi (2007) adequados para ocupação em cenário 3 (*Business as usual*).

Sub-bacia	Uso	Área (km <sup>2</sup> )	R	K	C	P	L.S	A (ton/ha/ano)	Perda(ton/ano)	% Perda
1e	agricultura	12,47	7030	0,016	0,1415	0,2	0,49	1,55976016	1945,02092	0,400%
1d	agricultura	6,73	7030	0,016	0,1415	0,2	0,42	1,33693728	899,7587894	0,185%
2e	agricultura	8,63	7030	0,016	0,1415	0,2	2,57	8,18078288	7060,015625	1,453%
2d	agricultura	2,67	7030	0,016	0,1415	0,2	2,72	8,65826048	2311,755548	0,476%
3e	agricultura	6,54	7030	0,016	0,1415	0,2	3,87	12,31892208	8056,57504	1,659%
3d	agricultura	1,08	7030	0,016	0,1415	0,2	1,84	5,85705856	632,5623245	0,130%
4e	agricultura	15,08	7030	0,016	0,1415	0,2	0,91	2,89669744	4368,21974	0,899%
4d	agricultura	8,85	7030	0,016	0,1415	0,2	1,05	3,3423432	2957,973732	0,609%
5e	agricultura	8,84	7030	0,016	0,1415	0,2	1,04	3,31051136	2926,492042	0,602%
5d	agricultura	8,72	7030	0,016	0,1415	0,2	2,69	8,56276496	7466,731045	1,537%
6e	agricultura	12,45	7030	0,016	0,1415	0,2	2,2	7,0030048	8718,740976	1,795%
6d	agricultura	3,55	7030	0,016	0,1415	0,2	1,35	4,2972984	1525,540932	0,314%
7e	agricultura	3,31	7030	0,016	0,1415	0,2	2,59	8,24444656	2728,911811	0,562%
7d	agricultura	3,63	7030	0,016	0,1415	0,2	2,34	7,44865056	2703,860153	0,557%
8e	nativa	7,65	7030	0,005	0,003	1	10,15	1,0703175	818,7928875	0,169%
8d	pastagem	2,4	7030	0,016	0,011	1	4,5	5,56776	1336,2624	0,275%
9e	agricultura	5,96	7030	0,005	0,1415	0,2	16,83	16,74155835	9977,968777	2,054%
9d	agricultura	1,95	7030	0,005	0,1415	0,2	5,75	5,71978375	1115,357831	0,230%
10e	agricultura	4,92	7030	0,045	0,1415	0,2	2,19	19,60642395	9646,360583	1,986%
10d	nativa	1,54	7030	0,045	0,003	1	3,87	3,6728235	565,614819	0,116%
11e	pastagem	5,42	7030	0,045	0,011	1	5,88	20,461518	11090,14276	2,283%
11d	pastagem	6,09	7030	0,045	0,011	1	2,45	8,5256325	5192,110193	1,069%
12e	pastagem	9,66	7030	0,045	0,011	1	4,38	15,241743	14723,52374	3,031%
12d	pastagem	4,92	7030	0,005	0,011	1	2,85	1,1019525	542,16063	0,112%
13e	pastagem	11,19	7030	0,045	0,011	1	6,32	21,992652	24609,77759	5,066%
13d	nativa	9,79	7030	0,005	0,003	1	6,62	0,698079	683,419341	0,141%
14e	nativa	3,28	7030	0,045	0,003	1	3,18	3,017979	989,897112	0,204%
14d	pastagem	7,81	7030	0,005	0,011	1	8,38	3,240127	2530,539187	0,521%
15e	nativa	4,61	7030	0,045	0,003	1	6,83	6,4820115	2988,207302	0,615%
15d	pastagem	6,26	7030	0,045	0,011	1	4,32	15,032952	9410,627952	1,937%
16e	nativa	18,45	7030	0,045	0,003	1	8,78	8,332659	15373,75586	3,165%
16d	pastagem	27,01	7030	0,045	0,011	1	4,03	14,0237955	37878,27165	7,798%
17e	pastagem	20,37	7030	0,045	0,011	1	11,26	39,183111	79815,99711	16,432%

Tabela 36. Cont. Fatores da equação USLE baseado em Bacchi (2007) adequados para ocupação em cenário 3 (*Business as usual*).

Sub-bacia	Uso	Área (km <sup>2</sup> )	R	K	C	P	L.S	A (ton/ha/ano)	Perda(ton/ano)	% Perda
17d	nativa	13,64	7030	0,045	0,003	1	0,58	0,550449	750,812436	0,155%
18e	pastagem	6,52	7030	0,045	0,011	1	0,87	3,0274695	1973,910114	0,406%
18d	nativa	5,6	7030	0,045	0,003	1	4,21	3,9955005	2237,48028	0,461%
19e	nativa	5,19	7030	0,005	0,003	1	8	0,8436	437,8284	0,090%
19d	pastagem	4,92	7030	0,005	0,011	1	8,2	3,17053	1559,90076	0,321%
20e	pastagem	13,93	7030	0,045	0,011	1	3,37	11,7270945	16335,84264	3,363%
20d	pastagem	15,69	7030	0,045	0,011	1	11,26	39,183111	61478,30116	12,657%
21e	veg. rala	10,96	7030	0,045	0,011	1	9,23	32,1190155	35202,44099	7,247%
21d	nativa	2,06	7030	0,045	0,003	1	1,26	1,195803	246,335418	0,051%
22e	pastagem	4,42	7030	0,045	0,011	1	1,78	6,194133	2737,806786	0,564%
22d	pastagem	5,38	7030	0,045	0,011	1	4,95	17,2252575	9267,188535	1,908%
23e	agricultura	1,6	7030	0,045	0,1415	0,2	1,9	17,0101395	2721,62232	0,560%
23d	pastagem	1,85	7030	0,045	0,011	1	3,88	13,501818	2497,83633	0,514%
24e	nativa	14,66	7030	0,045	0,003	1	3,47	3,2932035	4827,836331	0,994%
24d	pastagem	12,58	7030	0,045	0,011	1	5,15	17,9212275	22544,9042	4,641%
25e	nativa	15,04	7030	0,005	0,003	1	7,04	0,742368	1116,521472	0,230%
25d	pastagem	7,39	7030	0,045	0,011	1	4,23	14,7197655	10877,9067	2,239%
26e	nativa	12,54	7030	0,045	0,003	1	8,53	8,0953965	10151,62721	2,090%
26d	pastagem	2,25	7030	0,005	0,011	1	4,16	1,608464	361,9044	0,075%
27e	pastagem	3,02	7030	0,016	0,011	1	5,4	6,681312	2017,756224	0,415%
27d	nativa	5,05	7030	0,016	0,003	1	3,08	1,0393152	524,854176	0,108%
28e	nativa	5,36	7030	0,005	0,003	1	4,3	0,453435	243,04116	0,050%
28d	nativa	1,88	7030	0,005	0,003	1	2,72	0,286824	53,922912	0,011%
29e	pastagem	3,06	7030	0,005	0,011	1	4,67	1,8056555	552,530583	0,114%
29d	nativa	2,04	7030	0,005	0,003	1	3,26	0,343767	70,128468	0,014%
30e	nativa	2,77	7030	0,045	0,003	1	2,84	2,695302	746,598654	0,154%
30d	agricultura	6,14	7030	0,045	0,1415	0,2	2,71	24,26183055	14896,76396	3,067%
31e	pastagem	9,14	7030	0,032	0,011	1	4,93	12,1995808	11150,41685	2,296%
31d	agricultura	6,22	7030	0,032	0,1415	0,2	1,79	11,39579872	7088,186804	1,459%
32e	nativa	15,95	7030	0,032	0,003	1	3,88	2,6185344	4176,562368	0,860%
32d	pastagem	9,98	7030	0,032	0,011	1	3,98	9,8487488	9829,051302	2,024%
33e	nativa	0,36	7030	0,005	0,003	1	2,16	0,227772	8,199792	0,002%
33d	agricultura	5,76	7030	0,005	0,1415	0,2	1,21	1,20364145	693,2974752	0,143%
<b>Total</b>		<b>494,78</b>						<b>10,57</b>	<b>522.970,27</b>	<b>100%</b>

Tabela 37. Descrição das informações de entradas, fluxos e estoques para calibração para cenário 3, business as usual.

Nota	Descrição	Variável	Calibração			Referência
			Valor	Unidade	Valor de k	
<b>Entradas</b>						
1	Precipitação	R	1396	mm.ano <sup>-1</sup>		ANA (2011)
2	Luz solar	S	1	adimensional		Tilley e Brown (2006)
3	Escoamento de base	CF+GW	3,97 E5	m <sup>3</sup> .d <sup>-1</sup>		ANA (2011)
4	Temperatura	T	30,1	°C		ORNL DAAC (2010)
5	Índice de área foliar	LAI	1,25	adimensional		ORNL DAAC (2010)
<b>Fluxos</b>						
6	Volume de chuva precipitada	J2	1,91 E6	m <sup>3</sup> .d <sup>-1</sup>	1	ANA (2011)
7	Escoamento superficial	J4	8,21 E4	m <sup>3</sup> .d <sup>-1</sup>	2,51 E-9	Barsanti et al. (2003)
8	Ação da capilaridade vertical	J5	4,99 E3	m <sup>3</sup> .d <sup>-1</sup>	8,44 E-5	Tilley e Brown (2006)
9	Infiltração no solo	J7	1,21 E6	m <sup>3</sup> .d <sup>-1</sup>	2,12 E-1	Balanço, J2+J5-J4-J8
10	Evaporação no terreno	J8	6,13 E5	m <sup>3</sup> .d <sup>-1</sup>	1,65 E-1	ORNL DAAC (2010)
11	Evaporação no canal	J9	1,13 E4	m <sup>3</sup> .d <sup>-1</sup>	1,71 E-2	ORNL DAAC (2010)
12	Ação da capilaridade vertical	J10	4,99 E3	m <sup>3</sup> .d <sup>-1</sup>	5,88 E-5	Tilley e Brown (2006)
13	Insolação no terreno	JR	0,65	adimensional	-	Tilley e Brown (2006)
14	Percolação para o lençol	J11	8,33 E5	m <sup>3</sup> .d <sup>-1</sup>	1,29 E-2	Balanço, J7-J13
15	Produção bruta terrestre	J12	1,97 E6	kg.d <sup>-1</sup>	2,76 E-11	ORNL DAAC (2010)
16	Transpiração terrestre	J13	3,79 E5	m <sup>3</sup> .d <sup>-1</sup>	6,64 E-12	ORNL DAAC (2010)
17	Perda de biomassa terrestre	J14	1,55 E6	kg.d <sup>-1</sup>	-	Modelo hidro-carbono
18	Saída do aquífero superficial	J15	8,22 E5	m <sup>3</sup> .d <sup>-1</sup>	5,49 E-3	Balanço, entrada=saída
19	Troca aquífero/canal	J16	4,99 E3	m <sup>3</sup> .d <sup>-1</sup>	-1,14 E-3	Tilley e Brown (2006)
20	Descarga do canal (linear)	J18	2,40 E5	m <sup>3</sup> .d <sup>-1</sup>	2,36 E-1	Assumiu-se 50% descarga
21	Descarga do canal (quadrática)	J19	2,40 E5	m <sup>3</sup> .d <sup>-1</sup>	2,32 E-7	Assumiu-se 50% descarga

Tabela 37.Cont. Descrição das informações de entradas, fluxos e estoques para calibração para cenário 3, business as usual.

Nota	Descrição	Variável	Calibração			Referência
			Valor	Unidade	Valor de k	
22	Fotossíntese (GPP)	J20	9,84 E5	kgC d-1	3,45 E-11	ORNL DAAC (2010)
23	Respir. Autótrofa	J21	6,11 E5	kgC d-1	6,43 E-5	Estimado por NPP, ORNL DAAC (2010)
24	Produção de LDC	J22	1,66 E5	kgC d-1	3,06 E-4	Estimado, Aduan, Klink e Davidson (2002)
25	Carb. LDC p/ solo	J23	1,16 E5	kgC d-1	1,87 E-6	Balanço, J23=J22-J24
26	Respiração LDC	J24	4,98 E4	kgC d-1	7,16 E-10	Estimado, Lapola (2007)
27	Respiração solo	J25	1,99 E5	kgC d-1	4,32 E-13	J25=NCE-(J20+J26-J22-J23-J24 -J27-J28-J29)
28	Oxidação metano	J26	4,78 E2	kgC d-1	1,01 E5	Estimado, Cardoso et al. (2001)
29	Runoff carbono	J27	8,84 E3	kgC d-1	2,16 E-11	USLE, Goedert (1985)
Estoques						
30	Biomassa terrestre por m2	BU	1,36 E9	kg	-	Bustamante et al.(2006), Fearnside (1996), e Cavalett (2008)
			2,72	kg.m <sup>2</sup>	-	
30	Carbono biomassa aéreo subterrânea	BC AGBC BGBC	6,78 E8	kg C	-	Batle-Bayer, Batjes e Bindraban (2010)
			3,66 E8	kg C	-	
			3,11 E8	kg C	-	
31	Carbono do solo	SC	4,99 E9	kg C	-	Brossard et al. (1997), Braz et al. (2004)
32	Carbono liteira Liteira acima solo	LDC LC	3,74 E5	kg C	-	Aduan, Klink e Davidson (2002)
			1,50 E5	kg C	-	
33	Detrito subterrâneo	DC	2,24 E5	kg C	-	Estimado, Batle-Bayer, Batjes e Bindraban (2010)
			5,72 E6	m <sup>3</sup>	-	
33	Estoque superficial profundidade média	SD	11,48	mm	-	Estimado, Tilley e Brown (2006)
			11,48	mm	-	
34	Umidade do solo profundidade média	USM	6,48 E7	m <sup>3</sup>	-	-
			130	mm	-	
35	Volume do lençol profundidade média porosidade média	SA	1,50 E8	m <sup>3</sup>	-	-
			2	m	-	
			15	%	-	
36	Água nos Canais Comprimento total profundidade largura	CW	1,02 E6	m <sup>3</sup>	-	Gastmans et al. (2010)
			249.673	m	-	
			0,45	m	-	
37	Área da bacia Mata Nativa Agricultura Pastagens	AU AN AA AP	9,05	m	-	Embrapa CNPTIA (2011)
			498.514.329	m <sup>2</sup>	-	
			149.554.298	m <sup>2</sup>	-	
			134.598.868	m <sup>2</sup>	-	
			214.361.163	m <sup>2</sup>	-	Assumido

Tabela 38. Fatores da equação USLE baseado em Bacchi (2007) adequados para ocupação em cenário 4 (*Agricultura Sustentável*).

Sub-bacia	Uso	Área (km <sup>2</sup> )	R	K	C	P	LS	A (ton/ha/ano)	Perda(ton/ano)	% Perda
1e	SAF	12,47	7030	0,016	0,047	0,2	0,49	0,51808288	646,0493514	0,133%
1d	SAF	6,73	7030	0,016	0,047	0,2	0,42	0,44407104	298,8598099	0,062%
2e	SAF	8,63	7030	0,016	0,047	0,2	2,57	2,71729184	2345,022858	0,483%
2d	SAF	2,67	7030	0,016	0,047	0,2	2,72	2,87588864	767,8622669	0,158%
3e	SAF	6,54	7030	0,016	0,047	0,2	3,87	4,09179744	2676,035526	0,551%
3d	SAF	1,08	7030	0,016	0,047	0,2	1,84	1,94545408	210,1090406	0,043%
4e	SAF	15,08	7030	0,016	0,047	0,2	0,91	0,96215392	1450,928111	0,299%
4d	SAF	8,85	7030	0,016	0,047	0,2	1,05	1,1101776	982,507176	0,202%
5e	SAF	8,84	7030	0,016	0,047	0,2	1,04	1,09960448	972,0503603	0,200%
5d	SAF	8,72	7030	0,016	0,047	0,2	2,69	2,84416928	2480,115612	0,511%
6e	SAF	12,45	7030	0,016	0,047	0,2	2,2	2,3260864	2895,977568	0,596%
6d	SAF	3,55	7030	0,016	0,047	0,2	1,35	1,4273712	506,716776	0,104%
7e	SAF	3,31	7030	0,016	0,003	1	2,59	0,8739696	289,2839376	0,060%
7d	SAF	3,63	7030	0,016	0,047	0,2	2,34	2,47411008	898,101959	0,185%
8e	nativa	7,65	7030	0,005	0,003	1	10,15	1,0703175	818,7928875	0,169%
8d	SAF	2,4	7030	0,016	0,047	0,2	4,5	4,757904	1141,89696	0,235%
9e	SAF	5,96	7030	0,005	0,003	1	16,83	1,7747235	1057,735206	0,218%
9d	SAF	1,95	7030	0,005	0,003	1	5,75	0,6063375	118,2358125	0,024%
10e	SAF	4,92	7030	0,045	0,003	1	2,19	2,0784195	1022,582394	0,211%
10d	nativa	1,54	7030	0,045	0,047	0,2	3,87	11,5081803	1772,259766	0,365%
11e	SAF	5,42	7030	0,045	0,047	0,2	5,88	17,4852972	9477,031082	1,951%
11d	SAF	6,09	7030	0,045	0,003	1	2,45	2,3251725	1416,030053	0,292%
12e	SAF	9,66	7030	0,045	0,047	0,2	4,38	13,0247622	12581,92029	2,590%
12d	SAF	4,92	7030	0,005	0,003	1	2,85	0,3005325	147,86199	0,030%
13e	SAF	11,19	7030	0,045	0,047	0,2	6,32	18,7937208	21030,17358	4,329%
13d	nativa	9,79	7030	0,005	0,003	1	6,62	0,698079	683,419341	0,141%
14e	nativa	3,28	7030	0,045	0,003	1	3,18	3,017979	989,897112	0,204%
14d	SAF	7,81	7030	0,005	0,047	0,2	8,38	2,7688358	2162,46076	0,445%
15e	nativa	4,61	7030	0,045	0,047	0,2	6,83	20,3103027	9363,049545	1,928%
15d	SAF	6,26	7030	0,045	0,003	1	4,32	4,099896	2566,534896	0,528%
16e	nativa	18,45	7030	0,045	0,047	0,2	8,78	26,1089982	48171,10168	9,917%
16d	SAF	27,01	7030	0,045	0,003	1	4,03	3,8246715	10330,43772	2,127%
17e	SAF	20,37	7030	0,045	0,003	1	11,26	10,686303	21767,99921	4,481%

Tabela 38.Cont. Fatores da equação USLE baseado em Bacchi (2007) adequados para ocupação em cenário 4 (*Agricultura Sustentável*).

Sub-bacia	Uso	Área (km <sup>2</sup> )	R	K	C	P	L.S	A (ton ha <sup>-1</sup> ano <sup>-1</sup> )	Perda (ton/ano)	% Perda
17d	nativa	13,64	7030	0,045	0,047	0,2	0,58	1,7247402	2352,545633	0,484%
18e	SAF	6,52	7030	0,045	0,047	0,2	0,87	2,5871103	1686,795916	0,347%
18d	nativa	5,6	7030	0,045	0,047	0,2	4,21	12,5192349	7010,771544	1,443%
19e	nativa	5,19	7030	0,005	0,003	1	8	0,8436	437,8284	0,090%
19d	SAF	4,92	7030	0,005	0,047	0,2	8,2	2,709362	1333,006104	0,274%
20e	SAF	13,93	7030	0,045	0,003	1	3,37	3,1982985	4455,229811	0,917%
20d	SAF	15,69	7030	0,045	0,047	0,2	11,26	33,4837494	52536,00281	10,816%
21e	SAF	10,96	7030	0,045	0,047	0,2	9,23	27,4471587	30082,08594	6,193%
21d	nativa	2,06	7030	0,045	0,003	1	1,26	1,195803	246,335418	0,051%
22e	SAF	4,42	7030	0,045	0,047	0,2	1,78	5,2931682	2339,580344	0,482%
22d	SAF	5,38	7030	0,045	0,047	0,2	4,95	14,7197655	7919,233839	1,630%
23e	SAF	1,6	7030	0,045	0,003	1	1,9	1,803195	288,5112	0,059%
23d	SAF	1,85	7030	0,045	0,047	0,2	3,88	11,5379172	2134,514682	0,439%
24e	nativa	14,66	7030	0,045	0,003	1	3,47	3,2932035	4827,836331	0,994%
24d	SAF	12,58	7030	0,045	0,047	0,2	5,15	15,3145035	19265,6454	3,966%
25e	nativa	15,04	7030	0,005	0,003	1	7,04	0,742368	1116,521472	0,230%
25d	SAF	7,39	7030	0,045	0,047	0,2	4,23	12,5787087	9295,665729	1,914%
26e	nativa	12,54	7030	0,045	0,003	1	8,53	8,0953965	10151,62721	2,090%
26d	SAF	2,25	7030	0,005	0,047	0,2	4,16	1,3745056	309,26376	0,064%
27e	SAF	3,02	7030	0,016	0,047	0,2	5,4	5,7094848	1724,26441	0,355%
27d	nativa	5,05	7030	0,016	0,003	1	3,08	1,0393152	524,854176	0,108%
28e	nativa	5,36	7030	0,005	0,047	0,2	4,3	1,420763	761,528968	0,157%
28d	nativa	1,88	7030	0,005	0,003	1	2,72	0,286824	53,922912	0,011%
29e	SAF	3,06	7030	0,005	0,047	0,2	4,67	1,5430147	472,1624982	0,097%
29d	nativa	2,04	7030	0,005	0,003	1	3,26	0,343767	70,128468	0,014%
30e	nativa	2,77	7030	0,045	0,003	1	2,84	2,695302	746,598654	0,154%
30d	SAF	6,14	7030	0,045	0,047	0,2	2,71	8,0586999	4948,041739	1,019%
31e	SAF	9,14	7030	0,032	0,047	0,2	4,93	10,42509632	9528,538036	1,962%
31d	SAF	6,22	7030	0,032	0,003	1	1,79	1,2080352	751,3978944	0,155%
32e	nativa	15,95	7030	0,032	0,003	1	3,88	2,6185344	4176,562368	0,860%
32d	SAF	9,98	7030	0,032	0,047	0,2	3,98	8,41620352	8399,371113	1,729%
33e	nativa	0,36	7030	0,005	0,047	0,2	2,16	0,7136856	25,6926816	0,005%
33d	SAF	5,76	7030	0,005	0,047	0,2	1,21	0,3997961	230,2825536	0,047%
<b>Total</b>		<b>494,78</b>						<b>7,16</b>	<b>354.241,38</b>	<b>100%</b>

Tabela 39. Descrição das informações de entradas, fluxos e estoques para calibração para cenário 4, agricultura SAF.

Nota	Descrição	Variável	Calibração			Referência
			Valor	Unidade	Valor de k	
Entradas						
1	Precipitação	R	1396	mm.ano <sup>-1</sup>		ANA (2011)
2	Luz solar	S	1	adimensional		Tilley e Brown (2006)
3	Escoamento de base	CF+GW	3,97 E5	m <sup>3</sup> .d <sup>-1</sup>		ANA (2011)
4	Temperatura	T	30,1	°C		ORNL DAAC (2010)
5	Índice de área foliar	LAI	1,25	adimensional		ORNL DAAC (2010)
Fluxos						
6	Volume de chuva precipitada	J2	1,91 E6	m <sup>3</sup> .d <sup>-1</sup>	1	ANA (2011)
7	Escoamento superficial	J4	5,56 E4	m <sup>3</sup> .d <sup>-1</sup>	1,70 E-9	Barsanti et al. (2003)
8	Ação da capilaridade vertical	J5	4,99 E3	m <sup>3</sup> .d <sup>-1</sup>	8,44 E-5	Tilley e Brown (2006)
9	Infiltração no solo	J7	1,42E6	m <sup>3</sup> .d <sup>-1</sup>	2,49 E-1	Balanço, J2+J5-J4-J8
10	Evaporação no terreno	J8	4,29 E5	m <sup>3</sup> .d <sup>-1</sup>	1,15 E-1	ORNL DAAC (2010)
11	Evaporação no canal	J9	1,13 E4	m <sup>3</sup> .d <sup>-1</sup>	1,71 E-2	ORNL DAAC (2010)
12	Ação da capilaridade vertical	J10	4,99 E3	m <sup>3</sup> .d <sup>-1</sup>	5,88 E-5	Tilley e Brown (2006)
13	Insolação no terreno	JR	0,65	adimensional	-	Tilley e Brown (2006)
14	Percolação para o lençol	J11	8,49 E5	m <sup>3</sup> .d <sup>-1</sup>	1,31 E-2	Balanço, J7-J13
15	Produção bruta terrestre	J12	2,09 E6	kg.d <sup>-1</sup>	1,92 E-11	ORNL DAAC (2010)
16	Transpiração terrestre	J13	5,73 E5	m <sup>3</sup> .d <sup>-1</sup>	6,61 E-12	ORNL DAAC (2010)
17	Perda de biomassa terrestre	J14	1,68 E6	kg.d <sup>-1</sup>	-	Modelo hidro-carbono
18	Saída do aquífero superficial	J15	8,38 E5	m <sup>3</sup> .d <sup>-1</sup>	5,60 E-3	Balanço, entrada=saída
19	Troca aquífero/canal	J16	4,99 E3	m <sup>3</sup> .d <sup>-1</sup>	-1,14 E-3	Tilley e Brown (2006)
20	Descarga do canal (linear)	J18	2,27 E5	m <sup>3</sup> .d <sup>-1</sup>	2,23 E-1	Assumiu-se 50% descarga
21	Descarga do canal (quadrática)	J19	2,27 E5	m <sup>3</sup> .d <sup>-1</sup>	2,19 E-7	Assumiu-se 50% descarga

Tabela 39. Cont. Descrição das informações de entradas, fluxos e estoques para calibração para cenário 4, agricultura SAF.

Nota	Descrição	Variável	Calibração		Referência	
			Valor	Unidade		
22	Fotossíntese (GPP)	J20	1,04 E6	kgC d <sup>-1</sup>	2,41 E-11	ORNL DAAC (2010)
23	Respiração Autótrofa	J21	6,71 E5	kgC d <sup>-1</sup>	4,65 E-5	Estimado por NPP, ORNL DAAC (2010)
24	Produção de LDC	J22	1,70 E5	kgC d <sup>-1</sup>	2,06 E-4	Estim., Parron, Bustamante e Prado (2004)
25	Carbono LDC p/ solo	J23	1,19 E5	kgC d <sup>-1</sup>	1,87 E-6	Balanço, J23=J22-J24
26	Respiração LDC	J24	5,09 E4	kgC d <sup>-1</sup>	7,24 E-10	Estimado, Lapola (2007)
27	Respiração solo	J25	1,99 E5	kgC d <sup>-1</sup>	4,13 E-13	J25=NCE-(J20+J26-J22-J23-J24 -J27-J28-J29)
28	Oxidação metano	J26	4,78 E2	kgC d <sup>-1</sup>	1,26 E5	Estimado, Cardoso et al. (2001)
29	Runoff carbono	J27	5,65 E3	kgC d <sup>-1</sup>	2,04 E-11	USLE, Goedert (1985)
Estoques						
30	Biomassa terrestre por m <sup>2</sup>	BU	2,06 E9	kg	-	Bustamante et al.(2006), Fearnside (1996), e Cavalett (2008)
			4,13	kg.m <sup>2</sup>	-	
31	Carbono biomassa aéreo subterrânea	AGBC	1,03 E9	kg C	-	Batle-Bayer, Batjes e Bindraban (2010)
			4,73 E8	kg C	-	
			5,57 E8	kg C	-	
32	Carbono liteira Liteira acima solo	LDC	4,99 E9	kg C	-	Brossard et al. (1997), Braz et al. (2004)
			3,74 E5	kg C	-	
			1,50 E5	kg C	-	
33	Detrito subterrâneo	DC	2,24 E5	kg C	-	Estimado, Batle-Bayer, Batjes e Bindraban (2010)
			5,72 E6	m <sup>3</sup>	-	
			11,48	mm	-	
34	Estoque superficial profundidade média	SD	6,48 E7	m <sup>3</sup>	-	Estimado, Tilley e Brown (2006)
			130	mm	-	
			130	mm	-	
35	Umidade do solo profundidade média	USM	1,50 E8	m <sup>3</sup>	-	Girard et al. (2003), Manzione (2007)
			2	m	-	
			15	%	-	
36	Volume do lençol profundidade média porosidade média	SA	1,02 E6	m <sup>3</sup>	-	Estimado
			249.673	m	-	
			0,45	m	-	
37	Água nos Canais Comprimento total profundidade largura	CW	9,05	m	-	Gastmans et al. (2010)
			114.658.295	m <sup>2</sup>	-	
			114.658.295	m <sup>2</sup>	-	
37	Área da bacia Mata Nativa Agricultura Pastagens	AU	498.514.329	m <sup>2</sup>	-	Embrapa CNPTIA (2011)
			269.197.739	m <sup>2</sup>	-	
			114.658.295	m <sup>2</sup>	-	
			114.658.295	m <sup>2</sup>	-	

## ANEXO VIII. PERFIL DE PRESTAÇÃO DE SERVIÇOS ECOSISTÊMICOS PARA CADA CENÁRIO.

Tabela 40. Tabela para construção do perfil de prestação de serviços ecossistêmicos para cada cenário.

<b>Cenários</b>	Evapotrans- piração (EM\$.ha <sup>-1</sup> .ano <sup>-1</sup> )	Descarga canal (EM\$.ha <sup>-1</sup> .ano <sup>-1</sup> )	Sequestro C biomassa (EM\$.ha <sup>-1</sup> .ano <sup>-1</sup> )	Sequestro C liteira (EM\$.ha <sup>-1</sup> .ano <sup>-1</sup> )	Sequestro C solo (EM\$.ha <sup>-1</sup> .ano <sup>-1</sup> )	Recarga aquífero (EM\$.ha <sup>-1</sup> .ano <sup>-1</sup> )
Cerrado	78,61	28,05	76,33	-0,02	10,75	53,90
Agroflorestal	75,87	23,98	46,30	-0,02	5,95	52,16
Agric. Plantio Direto	67,62	4,33	42,44	0,00	0,81	43,87
Pastagem com manejo	72,00	20,70	29,77	-0,01	4,31	53,28
Agric.Convencional	62,52	-25,65	25,68	0,01	-15,59	27,73
Business as usual	72,82	19,35	7,32	-0,02	-0,60	51,39
Pastagem sem manejo	65,14	2,46	-4,97	-0,01	-2,79	44,39
	Valor relativo	Valor relativo	Valor relativo	Valor relativo	Valor relativo	Valor relativo
Cerrado	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00
Agroflorestal	0,97	0,85	0,61	0,64	0,55	0,97
Agric. Plantio Direto	0,86	0,15	0,56	0,01	0,08	0,81
Pastagem com manejo	0,92	0,74	0,39	0,41	0,40	0,99
Agric.Convencional	0,80	-0,91	0,34	-0,27	-1,45	0,51
Business as usual	0,93	0,69	0,10	0,62	-0,06	0,95
Pastagem sem manejo	0,83	0,09	-0,07	0,28	-0,26	0,82