

MINISTÉRIO DA CIÊNCIA E TECNOLOGIA
INSTITUTO NACIONAL DE PESQUISAS ESPACIAIS

**A INICIAÇÃO CIENTÍFICA NO INSTITUTO NACIONAL DE
PESQUISAS ESPACIAIS: ESTUDO OBSERVACIONAL E
NUMÉRICO DO IMPACTO DA CONVERSÃO DE FLORESTA EM
PASTAGEM EM MICRO BACIAS DA AMAZÔNIA CENTRAL**

**RELATÓRIO FINAL DE PROJETO DE INICIAÇÃO CIENTÍFICA
(PIBIC/CNPq/INPE)**

Guilherme Rennó de Azeredo Freitas (UNITAU, Bolsista PIBIC/CNPq)
E-mail: guilherme.renno@cptec.inpe.br

Dr. Javier Tomasella (CPTEC/INPE, Orientador)
E-mail: javier@cptec.inpe.br

COLABORADORES

Daniel Andres Rodriguez (CPTEC/INPE)

Julho de 2009

DADOS DE IDENTIFICAÇÃO

Nome: **Guilherme Rennó de Azeredo Freias**

Local de Trabalho: **CPTEC / INPE**

Título do projeto: **Estudo observacional e numérico do impacto da conversão de floresta em pastagem em micro bacias da Amazônia Central**

Tipo de bolsa: **Bolsa ITI-1A**

Período: **Outubro/ 2008 – Outubro/ 2009**

SUMÁRIO

1 - INTRODUÇÃO	5
1.1 - OBJETIVOS	5
1.1.1 - Objetivo geral	5
1.1.2 - Objetivos específicos	5
2 - FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA.....	6
2.1 - Bacia Hidrográfica.....	6
2.2 - Bacia Amazônica	6
2.3 - Micro-Bacia Igarapé ASU - Área de estudo e Topografia	7
2.4 - Modelos Hidrológicos	8
2.5 - Modelo DHSVM	8
2.6 - Modelo DEM	8
2.7 - Vegetação	9
2.7.1 - Índice de área foliar.....	9
2.7.2 - Altura da vegetação	9
2.7.3 - Resistência estomática	9
2.7.4 - Umidade do solo	10
2.7.5 - Pressão do vapor d'água	10
2.7.6 - Radiação Incidente	10
2.7.7- Radiação Fotossinteticamente Ativa e Fração da Radiação Fotossinteticamente Ativa	10
2.7.8 - Albedo.....	11
2.7.9 - Zona das raízes	11
2.8 - Ciclo Hidrológico e o Balanço Hídrico	11
3 - DADOS E METODOLOGIA	13
3.1 - Dados.....	13
3.1.1 - Análise qualitativa dos dados.....	14
3.1.1.1 - Dados de chuva	14
3.2 - Estudo teórico e análise dos parâmetros que serão modificados para área de pastagem na Micro-Bacia Igarapé Asu	15
3.2.1 - Vegetação	15
3.2.1.1 - Índice de Área Foliar	15
3.2.1.2 - Máxima e mínima resistência estomática e limites de pressão de vapor e radiação fotossinteticamente ativa para o fechamento de estômatos.....	15
3.2.1.3 - Albedo	16
3.2.1.4 - Raízes	16
3.3 - Simulações numéricas	16
4 - RESULTADOS E ANÁLISES	16
4.1 - Resultados da saída dos dados	16
4.2 - Resultado da análise qualitativa dos dados	17
4.3 - Resultados das simulações numéricas com DHSVM	17
4.3.1 - Comparações dos resultados de CTL com os dados observados	17
4.3.1.1 - Vazão	18
4.3.1.2 - Evapotranspiração	20
4.3.1.3 - Umidade do solo	20
4.3.1.4 - Nível Freático	23
4.3.2 - Comparações entre os resultados de CTL e EXP.....	25
4.3.2.1 - Vazão	25
4.3.2.1 - Evapotranspiração	27
4.3.2.3 - Umidade do solo	27

4.3.2.1 - Nível Freático	29
5 - CONCLUSÕES E TRABALHOS FUTUROS.....	31
REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	33
APÊNDICE A - Tabela das comparações dos parâmetros utilizados em floresta e pastagem.....	35

1 INTRODUÇÃO

Nas últimas décadas as ações antrópicas (direcionada pelo homem) têm modificado as características físicas, de forma benéfica ou adversa ao meio natural, essas ações têm levado a redução de coberturas de florestas. Do ponto de vista hidrológico, Cuartas (2008) assinala que quando ocorrem essas ações, há uma alteração na evapotranspiração do local, ocorrendo ainda uma modificação no balanço hídrico e energético, Trancoso (2006) também assinala que este balanço sofre influências impactantes significativas como o da infiltração, armazenamento na zona próxima as raízes, aumento do escoamento superficial e deflúvio. Por sua vez todos esses componentes que afetam o balanço hídrico estão relacionados com a variabilidade intrasazonal e interanual da precipitação e vazão (Tomasella, 2006).

Com isso, abordar-se-á um estudo da análise do impacto pela conversão da área florestada em pastagem na micro-bacia do Igarapé Asu, por meio da diferença dos resultados, calculada por um modelo hidrológico dos componentes que influenciam o ciclo hidrológico e que causa um impacto significativo no ambiente.

1.1 OBJETIVOS

1.1.1 Objetivo geral

A presente pesquisa busca analisar o impacto nas simulações hidrológicas pela conversão da área florestada em pastagem da micro-bacia do Igarapé Asu.

1.1.2 Objetivos específicos

- Simular os processos hidrológicos numa micro-bacia instrumentada, com cobertura de floresta, na região Amazônica.
- Identificar os principais parâmetros hidrológicos que regem o comportamento da bacia.
- Simular o comportamento hidrológico encontrado na bacia considerando uma cobertura de pastagem.
- Analisar as variações dos parâmetros hidrológicos identificados em função da variação no uso do solo.
- Estudar o impacto da perda da floresta nos diversos processos que integram a resposta hidrológica da bacia através de simulações numéricas.

2 FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA

2.1 Bacia Hidrográfica

A bacia hidrográfica é um sistema físico onde a entrada é o volume de água precipitado e a saída é o volume de água escoado pelo exutório, considerando-se como perdas intermediárias os volumes evaporados e transpirados e também os infiltrados profundamente. Ela compõe-se basicamente de um conjunto de superfícies vertentes e de uma rede de drenagem formada por cursos de água que confluem até resultar um leito único no exutório. (TUCCI, 1993). Uma bacia hidrográfica é um sistema que integra as conformações de relevo e drenagem. A parcela da chuva que se abate sobre a área da bacia e que irá transformar-se em escoamento superficial, chamada precipitação efetiva, escoam a partir das maiores elevações do terreno, formando enxurradas em direção aos vales. Esses, por sua vez, concentram esse escoamento em córregos, riachos e ribeirões, os quais confluem e formam o rio principal da bacia. O volume de água que passa pelo exutório na unidade de tempo é a vazão ou descarga da bacia. (SPERLING, 2009)

Segundo o sistema de classificação de Strahler (CUARTAS, 2008), as bacias hidrográficas são divididas de acordo com a confluência dos rios. Os formados nas cabeceiras (ou nascentes), chamados de primeira ordem; quando dois canais de primeira ordem confluem formam um canal de segunda ordem e assim sucessivamente, sempre requerendo a junção de duas ordens iguais para produzir uma ordem maior.

2.2 Bacia Amazônica

A bacia do rio Amazonas possui aproximadamente seis milhões e setecentos mil quilômetros quadrados com uma floresta do tipo tropical. Embora a Amazônia detenha a maior floresta tropical do mundo, as taxas anuais de desflorestamento são extremamente altas, fazendo do Brasil o país que perde mais rapidamente sua cobertura florestal (FAO, 2006 *apud* TRANCOSO, 2006).

Nas últimas décadas, particularmente a porção sul da Amazônia, vem sendo rapidamente alterada no chamado “Arco de desflorestamento”. Entretanto, ainda é uma questão obscura, a influência destas grandes áreas desflorestadas sobre os componentes do ciclo hidrológico, particularmente sobre a sustentabilidade dos

recursos hídricos que está estreitamente interligada com a cobertura florestal de suas bacias de drenagem (TRANCOSO, 2006).

Apesar das florestas consumirem aproximadamente a metade da água que chega até elas na manutenção de seus processos fisiológicos via evapotranspiração, elas são responsáveis pelo equilíbrio no ciclo hidrológico e regulação do clima. A remoção da cobertura florestal proporciona uma série de alterações nos componentes do balanço hídrico, conforme já verificado em diversos estudos com microbacias experimentais (Bosch & Hewlett, 1982; Bruijnzeel, 1990; Andreássian, 2004; Brown *et al.*, 2005 *apud* TRANCOSO, 2006). Essas alterações geram impactos bem significativos como: redução da evapotranspiração, infiltração e armazenamento na zona próxima as raízes e aumento do escoamento superficial e deflúvio (TRANCOSO, 2006).

2.3 Micro-Bacia Igarapé ASU - Área de estudo e topografia

A micro-bacia hidrográfica Igarapé Asu, afluente do Rio Cuieiras, é localizada na Amazônia Central, na Reserva Biológica do Rio Cuieiras, 60 km a noroeste de Manaus, no Km 34 da ZF-2, com temperatura média anual de 26°C e umidade relativa do ar média de 84%, e uma precipitação anual média de 2442 mm (entre 1966 e 1992). Sua topografia é formada por vales de tamanhos diversificados e por platôs de sedimentos terciários. Sua vegetação é denominada de floresta densa de Terra firme. As figuras 1 e 2, demonstram respectivamente a área tomada como estudo e a topografia da micro-bacia.



Figura 1. Imagem Landsat da área de estudo.

Fonte. Cuartas, 2008

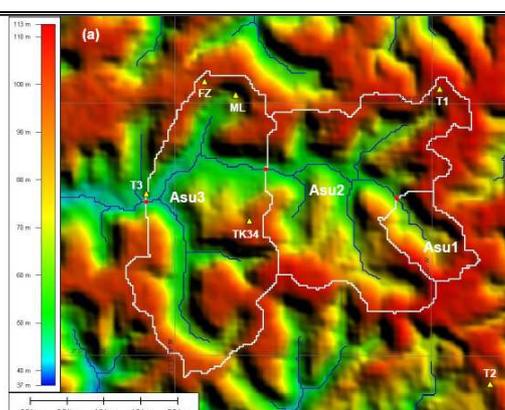


Figura 2. Topografia da Micro-bacia Igarapé Asu.

Fonte. Cuartas, 2008

O sistema é subdividido em três sub-bacias, Asu 1, de primeira ordem, Asu 2 - de segunda ordem, e Asu 3, de terceira ordem. Cada uma das sub-bacias em estudo têm áreas iguais a 0,95; 6,46; e 12,43 km², respectivamente (Cuartas 2008).

2.4 Modelos Hidrológicos

Primeiramente os modelos são as interpretações ou representações de objetos e sistemas da realidade (TUCCI, 2005).

Os modelos matemáticos são conjuntos de equações matemáticas que geram resultados em forma de valores, representando um sistema..

Os modelos hidrológicos são modelos representativos do ciclo hidrológico nas bacias hidrográficas, e de qualquer influência que ocorra no mesmo dentro deste ambiente. Dependendo dos objetivos das aplicações os modelos podem ter ênfase em saturação do solo, na relação solo-vegetação, no escoamento durante as cheias, entre outros. Eles podem também ser específicos para áreas de micro escala ou de macro escala (TUCCI, 2005).

2.5 Modelo DHSVM

O modelo DHSVM – Distributed Hydrology Soil Vegetation Model (Wigmosta, 1990), é um modelo hidrológico que foi desenvolvido para ser aplicado em bacias pequenas e médias (micro e meso-escala), ou seja, de uma área até 10.000 km², com uma boa representação dos solos e da vegetação. Por ser um modelo físico-distribuído fornece uma representação dinâmica da distribuição espacial dos processos hidrológicos na escala espacial do DEM - Modelo Digital de Elevação (Singh *et al*, 2002).

2.6 Modelo DEM

O DEM (Digital Elevation Model) é uma representação digital das características de elevação de uma seção da superfície dos Modelos Digitais de Terreno (MDT), dada por uma matriz de pixels com coordenadas planimétricas (x,y) e um valor de

intensidade do pixel, correspondente à elevação. (LUIZ *et al*, 2007, COLLINS, 1978 *apud* CUNHA, 2001).

2.7 Vegetação

A vegetação regula o fluxo de numerosos ciclos biogeoquímicos, mais criticamente as de água, de carbono e nitrogênio, além de ser um fator importante nos balanços energéticos. Esses ciclos são importantes não somente para os padrões globais de vegetação, mas também para os de clima. Em segundo lugar, a vegetação afeta as características do solo por meio de sua estrutura.

Como as características estruturais das plantas, suas funções e as variáveis ambientais têm forte influência no balanço hídrico e energético, irão ser citados como parâmetros em modelos hidrológicos, sendo fundamental para a continuidade no entendimento desta pesquisa. São elas:

2.7.1 Índice de área foliar

A Área foliar determina a capacidade de interceptação da chuva e o fluxo de vapor d'água por transpiração das plantas.

2.7.2 Altura da vegetação

A altura da vegetação tem influência na interceptação da água da chuva. O principal impacto da altura da vegetação é na resistência aerodinâmica na camada limite, o que influencia a evaporação potencial.

2.7.3 Resistência estomática

É a resistência de abertura dos estômatos na folhas. Os estômatos são estruturas das folhas, com uma abertura chamada ostíolo. Através dos ostíolos, as folhas fazem as trocas gasosas. Sob determinadas condições os estômatos se

abrem ou fecham, modificando a resistência, tendo grande influência na transpiração das plantas. A resistência estomática é um parâmetro que representa esta abertura dos estômatos.

2.7.4 Umidade do solo

É a água contida no solo, em que parte dela irá servir como hidratação à planta para sua sobrevivência. O estresse hídrico pode influenciar no fechamento dos estômatos.

2.7.5 Pressão do vapor d'água

A pressão do vapor encontrada na região tem forte influência no fechamento dos estômatos, pois o processo da difusão do vapor na saída dos estômatos é dependente do déficit de saturação de vapor d'água no seu entorno. O ambiente em influência da temperatura local pode ter ou não capacidade de absorver por completo o vapor d'água da planta, se o primeiro citado ocorrer, o estômato se fechará para manter o controle de sua difusão.

2.7.6 Radiação Incidente

A radiação solar é a radiação emitida pelo sol. A radiação que chega no topo da atmosfera é chamada de radiação solar incidente, parte dessa radiação é refletida ou absorvida pela atmosfera, o resto é refletida para superfície terrestre. Parte desta é ainda refletida pela superfície terrestre (albedo).

2.7.7 Radiação Fotossinteticamente Ativa e Fração da Radiação Fotossinteticamente Ativa

A radiação fotossinteticamente ativa (PAR) é a parte do espectro solar que as plantas podem utilizar para desenvolver fotossíntese (entre 400 e 700 nm). Fração da Radiação Fotossinteticamente Ativa (FPAR) é a fração do PAR que a planta intercepta ou absorve e utiliza para realizar o desenvolvimento do seu dossel.

2.7.8 Albedo

É a fração da radiação incidente refletida, ou seja, é a razão entre a radiação refletida e a incidente. A vegetação também conta como somatória no percentual do albedo global.

2.7.9 Zona das raízes

As Plantas absorvem a água do solo através das raízes. Dependendo do tamanho e distribuição dessas raízes, absorverão pequenas ou maiores quantidade de água, conseqüentemente a distribuição delas pela profundidade do solo influencia na transpiração das plantas.

2.8 Ciclo Hidrológico e o Balanço Hídrico

O ciclo hidrológico é o fenômeno global de circulação fechada da água entre a superfície terrestre e a atmosfera, impulsionado fundamentalmente pela energia solar associada à gravidade e à rotação terrestre, ou seja, é um processo de recirculação que diz respeito à água na atmosfera, nos continentes, e nos oceanos. Podemos entender este processo de recirculação como reservatório ou compartimentos que armazenam água (oceanos, atmosfera, entre outros) e o movimento da água entre eles. A Energia solar é o fator que direciona o ciclo hidrológico, fatores como gravidade e outras forças também desempenham papéis importantes.

Um dos mais importantes fatores do ciclo hidrológico nos estudos da hidrologia é a vazão, pois fatores como precipitação, evapotranspiração, entre outros afetam diretamente dentro de uma região, ou seja, se analisarmos uma vazão de determinada região e verificarmos que seus resultados não estão de acordo como previsto, poderemos saber que algum ou alguns dos outros fatores do ciclo pode ter sido analisado errado.

Com tudo, apesar da possibilidade de analisarmos, verificarmos e validarmos fatores do ciclo hidrológico através dos valores de vazão, ela não seria o suficiente

para poder explicar os componentes deste ciclo, por isso foi desenvolvido o balanço hídrico.

Balanço hídrico é uma representação do equilíbrio hídrico de uma determinada área de uma forma matemática. O balanço hídrico foi desenvolvido para explicar os componentes hidrológicos e é por estes componentes que podemos notar as diferenças dos impactos causadores no ciclo hidrológico, e em consequência no clima da região.

É importante entender o ciclo hidrológico e o balanço hídrico, pois a conversão de área florestada em pastagem na micro-bacia Igarapé Asu irá ser estudada e analisada através destes conceitos.

Na micro-bacia Igarapé Asu, Cuartas (2008) comparou seus resultados com os dados observados, coletados e calculados por levantamentos em campos, e comprovou que os dados simulados pelo modelo hidrológico DHSVM teve desempenho satisfatório, embora o modelo tenha sido desenvolvido para zonas temperadas e montanhosas.

Para a análise e validação desse modelo em comparação com os dados observados por Cuartas (2008) foram base os resultados do nível do lençol freático, umidade do solo, evapotranspiração, vazão e a variação acumulada do armazenamento total da bacia das áreas saturadas somado às áreas não saturadas, pois estes são fundamentais para o entendimento e análise no ciclo hidrológico na região estudada. Cuartas (2008) verificou que, nas simulações do modelo DHSVM, a umidade foi subestimada nas estações secas, e superestimada nos períodos úmidos próximos a superfície. O lençol freático representou bem a variabilidade dos observados, similares nos períodos úmidos, mas superestimou nos períodos secos e em áreas baixas os valores foram menores que os observados. O modelo representou muito bem os valores da vazão, principalmente nas mínimas vazões. A série simulada de evapotranspiração pelo modelo foi similar à observada, com alguns valores maiores que os dos observados.

Para o presente trabalho, foi feita a comparação dos quatro primeiros supracitados, ou seja: nível do lençol freático, umidade do solo, evapotranspiração e vazão.

3 DADOS E METODOLOGIA

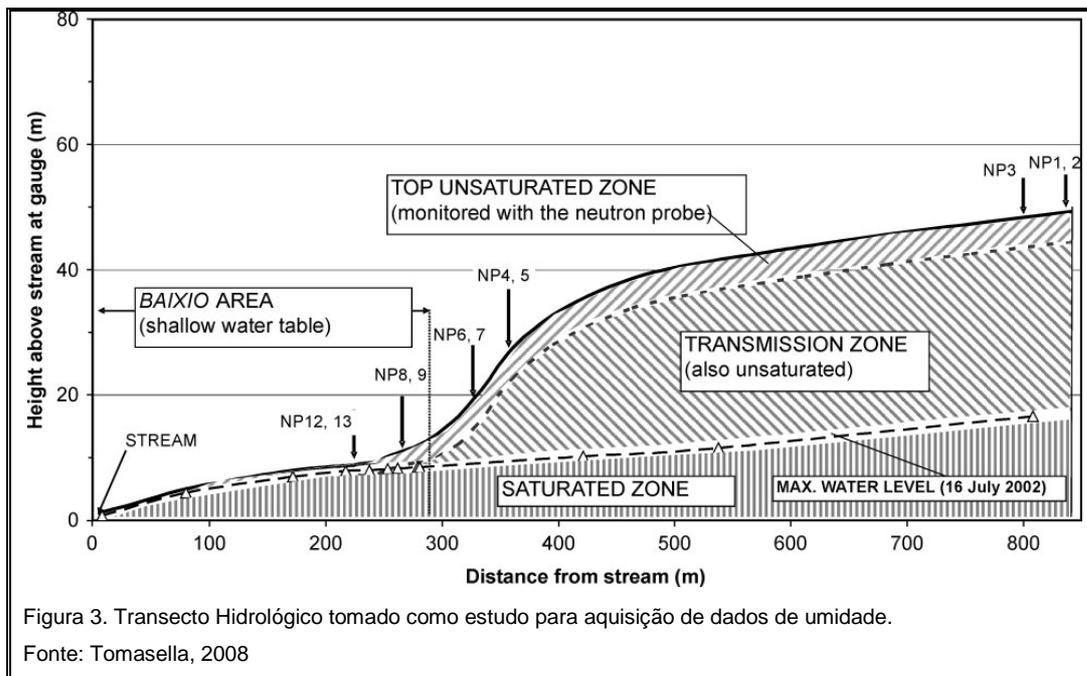
Este estudo partiu inicialmente da análise dos dados coletados e das pesquisas realizadas pelo INPA – Instituto Nacional de Pesquisas da Amazônia na micro-bacia Igarapé Asu. Os dados são enviados para o CPTEC – Centro de Previsão de Tempo e Estudos Climáticos, do Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais (INPE), muitas vezes, sem uma formatação padrão, assim, havendo a necessidade de uma correção para um formato mais favorável, permitindo uma análise de forma mais rápida e facilitando um estudo qualitativo por meio de gráficos. Neste sentido para que os dados sejam processados corretamente é utilizada como ferramenta programas desenvolvidos com a linguagem Fortran. Com o processamento dos dados e a análise qualitativa dos gráficos, identifica-se o comportamento dos processos hidrológicos da micro-bacia. Esses dados serão utilizados para alimentar, calibrar e validar o modelo hidrológico.

3.1 Dados

A seguir serão expostos os dados coletados, as variáveis estudadas e como são captados esses dados hidro-meteorológicos em campo.

Para as medições dos dados de precipitação foram utilizados sete pluviômetros, Torre K34, Fazenda, Motorlinha, Torre 1, Torre 2, Torre 3 e um pluviômetro adicional na Torre K34.

A interceptação foi medida através de um sistema coletor de canaletas em forma de V, ligadas aos pluviômetros e para escoamento de troncos de árvores foram utilizados coletores de formato adequado para desviar o fluxo a um sistema de tubulação, que serão medidos nos pluviômetros. Cuartas (2008) aponta ainda que para o cálculo da umidade do solo foi utilizado uma sonda de nêutrons em onze pontos diferentes ao longo de um transecto hidrológico em suas áreas de platô, vertente, pé da vertente e ecótono (Figura 3).



O lençol freático foi monitorado por 25 piezômetros, sendo que em 9 foram utilizados transdutores de nível de água, registrando variações no lençol.

Para obter os valores de vazão utilizam-se dois instrumentos ultra-sônicos chamados Doppler, os que registram o nível da água e a sua velocidade. As vazões são calculadas através das curvas chaves correspondentes a cada seção no igarapé.

Semanalmente, via e-mail, o CPTEC recebe as informações diárias de campo e os dados que são chamados de brutos (dados não formatados). No diário de campo são informados mudanças e problemas detectados nos instrumentos na bacia. Esta Informação precisa ser considerada nas análises de qualidade dos dados.

3.1.1 Análise qualitativa dos dados

3.1.1.1 Dados de chuva

Por meio de gráficos de correlação, os dados de chuva serão analisados para sua verificação e correção. Esta análise gráfica é feita entre dois pluviômetros próximos e comparada entre si. A comparação é feita com acúmulo de chuva de cada pluviômetro desde o início do ano corrente até o dia atual, desenhando esses valores num gráfico X-Y. Quando as correlações entre os dois pluviômetros estão bem próximas a uma reta ascendente no gráfico, com inclinação unitária, assume-se que não existem erros de medição dos dados. Períodos em que o gráfico se afasta

de uma linha reta são, identificados e estudados em detalhe, depurando os possíveis erros na informação.

3.2 Estudo teórico e análise dos parâmetros que serão modificados para área de pastagem na Micro-Bacia Igarapé Asu

A seguir serão apresentados os parâmetros que necessitam serem modificados. Para os parâmetros que se aplicam ao dossel superior serão desconsiderados, pois a pastagem é considerada como dossel inferior. Os valores dos parâmetros comparados a vegetação em floresta são encontrados na Tabela 1 no Apêndice A.

3.2.1 Vegetação

3.2.1.1 Índice de área foliar

O índice de área foliar é utilizado para determinar a capacidade de interceptação da chuva e o fluxo de vapor d'água por transpiração das plantas. Expressa a disponibilidade de superfície assimiladora de CO₂ e influencia no cálculo da radiação fotossinteticamente ativa e de perdas de água pela transpiração da população de plantas.

Como a área foliar da pastagem é totalmente diferente da de uma floresta, a capacidade da interceptação é alterada, existe no modelo um parâmetro multiplicador para área foliar que determina essa capacidade de interceptação da chuva. Além da área foliar encontra-se entre os parâmetros: o ângulo da folha, a altura, e a distância do tronco. Esta última seria a distância da superfície do chão até o topo da planta. Como será aplicado para dossel inferior parâmetros como ângulo da folha e distância do tronco não serão necessários.

3.2.1.2 Máxima e mínima resistência estomática e limites de pressão de vapor e radiação fotossinteticamente ativa para o fechamento de estômatos

Os estômatos influenciam na troca gasosa entre a planta e atmosfera. As resistências estomáticas são relacionadas com a umidade relativa, o potencial de água no solo, a temperatura, a radiação solar e a fração de ondas curtas de radiação fotossinteticamente ativa. A abertura e fechamento dos estômatos responde principalmente à pressão de vapor d'água e à quantidade de radiação fotossinteticamente ativa. O modelo utiliza valores limiares destas variáveis para representar seus efeitos na troca gasosa planta-atmosfera.

3.2.1.3 Albedo

O albedo é o principal fator que afeta o balanço de radiação terrestre afetando a transpiração e a evaporação e tem sido freqüentemente considerado em estudos do clima global e regional, tornando-se assim um dos principais parâmetros que devem ser analisados. A Amazônia é uma das regiões do planeta onde a resposta da circulação atmosférica regional a mudanças do albedo superficial é mais intensa.

3.2.1.4 Raízes

Os pastos possuem raízes pequenas, e essa diminuição de raízes influencia na transpiração das plantas. As raízes absorvem a água do solo por osmose e hidrata a planta. A profundidade da zona de raízes e a distribuição das mesmas afeta o intercâmbio d'água entre o solo e a planta. Ambos os parâmetros deverão ser modificados na simulação de mudança de cobertura da bacia.

3.3 Simulações numéricas

Foram realizadas simulações numéricas com o modelo DHSVM no período 17 de fevereiro a 04 de junho de 2009 nas três sub-bacias. A primeira simulação foi considerada uma cobertura de floresta (simulação de controle – CTL), na segunda simulação foi considerada uma cobertura de pastagem (simulação do experimento – EXP). É importante salientar que a simulação utilizando pastagem como cobertura do solo (EXP) foi realizada considerando as mesmas condições climáticas e de tipos de solos utilizados na simulação considerando floresta (CTL). Os resultados da simulação CTL foram comparados valores observados, para conhecer o comportamento do modelo. Por último, os resultados de EXP e de CTL foram comparados entre si, a fim de verificar o efeito da mudança no uso do solo nas simulações com o modelo.

4 RESULTADOS E ANÁLISES

4.1 Resultado da saída dos dados

As figuras 4 e 5 a seguir demonstram exemplos dos dados de precipitação da Torre1, leitura feita pelo Datalogger Hobo.

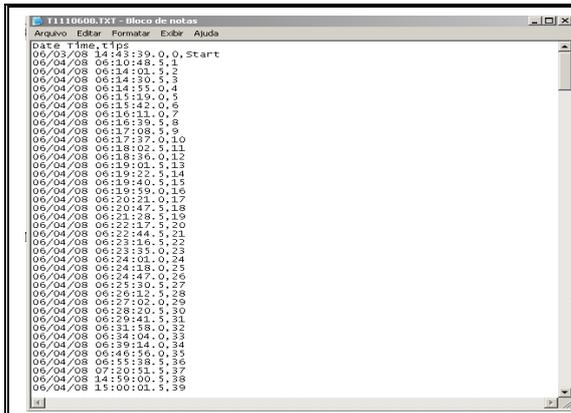


Figura 4. Dados brutos gerados pela leitura do Datalogger Hobo

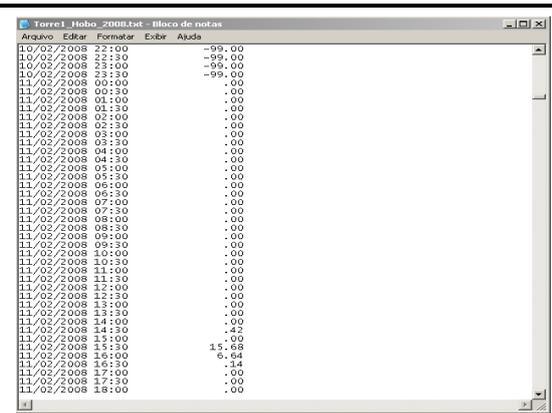


Figura 5. Saída dos dados calculadae formatada.

Nota-se que na figura 5, a nova formatação gerada, facilita o entendimento na saída de dados onde estes dados serão usados para realizar uma análise qualitativa dos mesmos.

4.2 Resultado da análise qualitativa dos dados

A figura 6 demonstra a correlação feita em forma de gráfico dos pluviômetros Motorlinha e Fazenda.

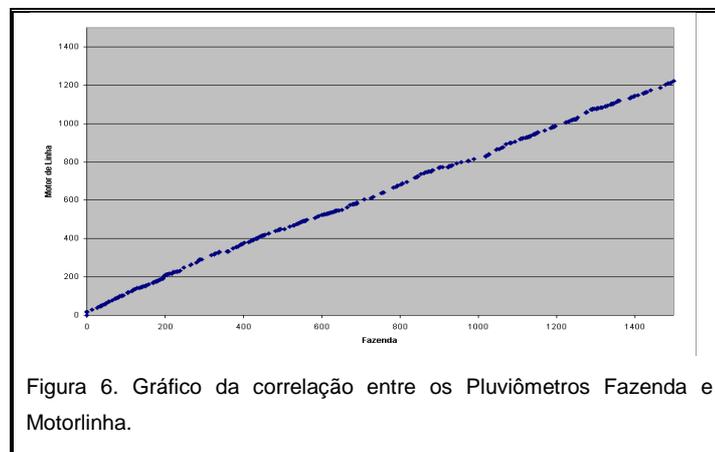


Figura 6. Gráfico da correlação entre os Pluviômetros Fazenda e Motorlinha.

Verifica-se que pela formação de uma reta ascendente há uma boa correlação entre os dados dos pluviômetros Motorlinha e Fazenda, isso significa que os dados de precipitação foram gerados corretamente em campo.

4.3 Resultados das simulações numéricas com DHSVM

4.3.1 Comparações dos resultados de CTL com dados observados

4.3.1.1 Vazão

As vazões não ficaram bem representadas, principalmente na Asu 1(Figura 7), isso pode ser explicado pela baixa resolução do Modelo digital de elevação do terreno. Na Asu 2(Figura 8) os valores simulados ficaram mais próximos dos observados, sendo esta sub-bacia maior que a primeira. A Asu 3(Figura 9) foi a melhor representada, sendo esta a bacia que possui maior dimensão entre as três. As vazões podem não ter ficado bem representadas, mas os resultados do modelo demonstram que são satisfatórios com relação a sua variabilidade.

Para cada uma das sub-bacias as vazões mínimas são bem representadas, e as máximas estão mais dispersas. Na sub-bacia Asu 1, os valores mínimos de vazão foram, em geral, super-estimados, enquanto que os máximos foram sub-estimados (Fig. 10). Na sub-bacia Asu 2 a dispersão das vazões foram menores, mas subestimadas (Fig. 11). Na terceira sub-bacia, Asu 3, os valores gerados subestimaram os mínimos e superestimaram os máximos observados (Fig. 12).

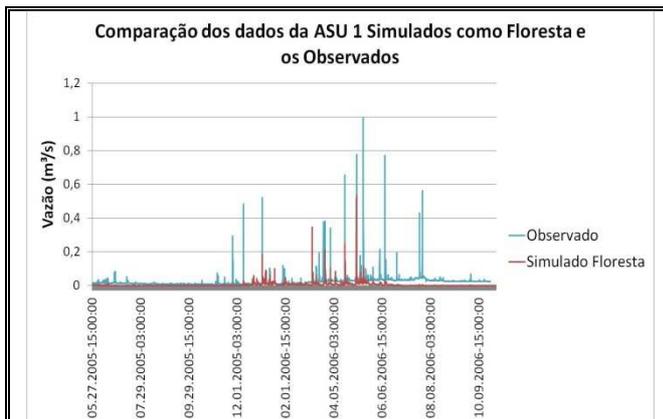


Figura 7. Comparação da vazão dos dados da Asu 1 Floresta-Observado.

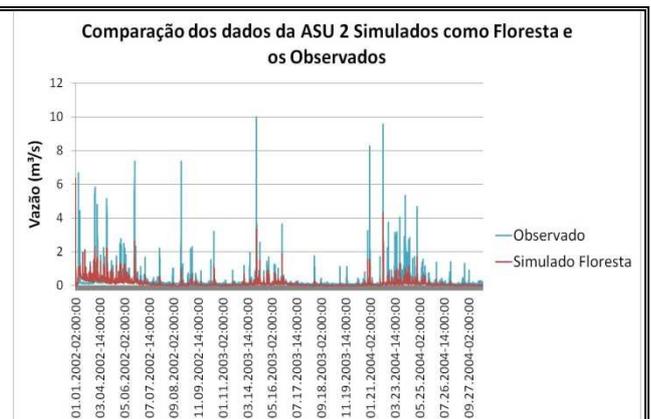
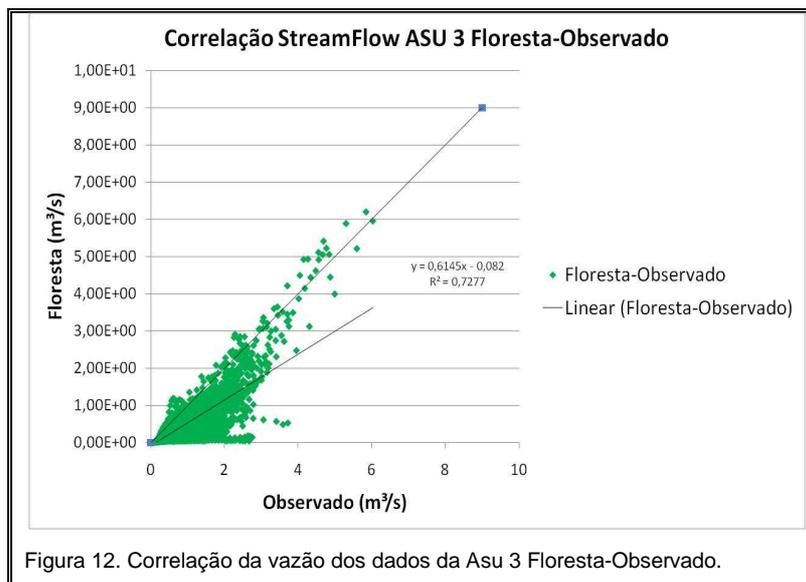
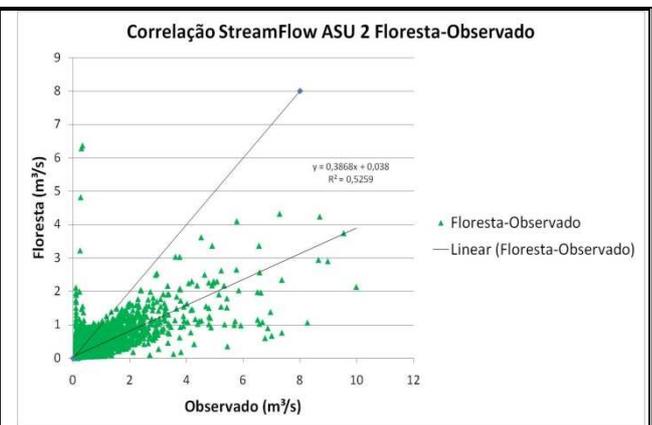
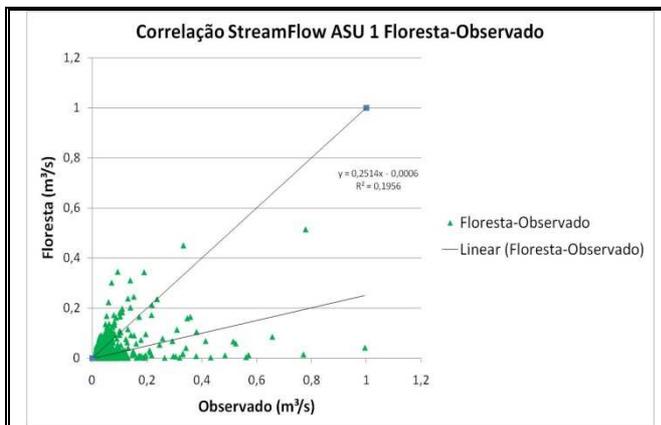
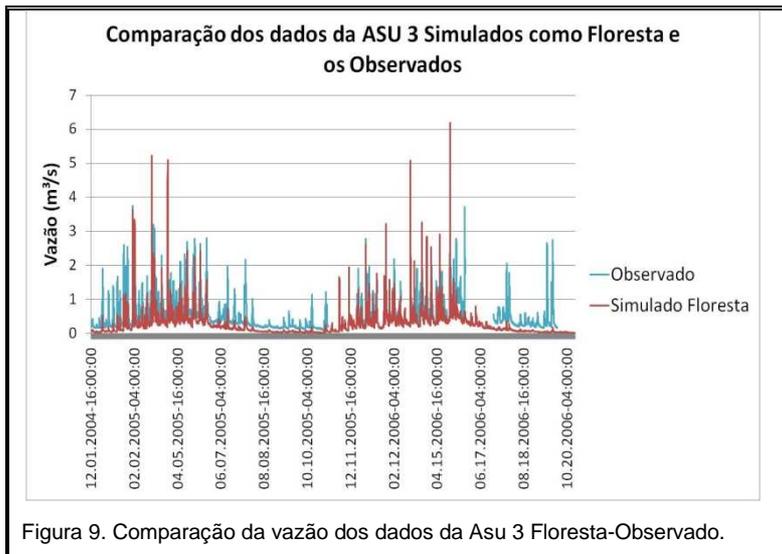


Figura 8. Comparação da vazão dos dados da Asu 2 Floresta-Observado.



4.3.1.2 Evapotranspiração

Pela análise das figuras 13 e 14, os resultados, em geral, superestimaram os valores dos dados observados, apresentando uma boa correlação, com um R^2 de 0,79. Existe uma importante dispersão para valores em torno de 0.2 mm da evapotranspiração simulada

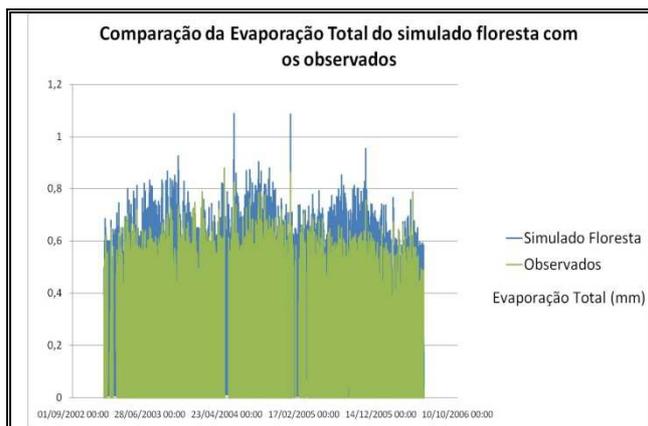


Figura 13. Comparação da evapotranspiração por hora dos dados Floresta-Observado

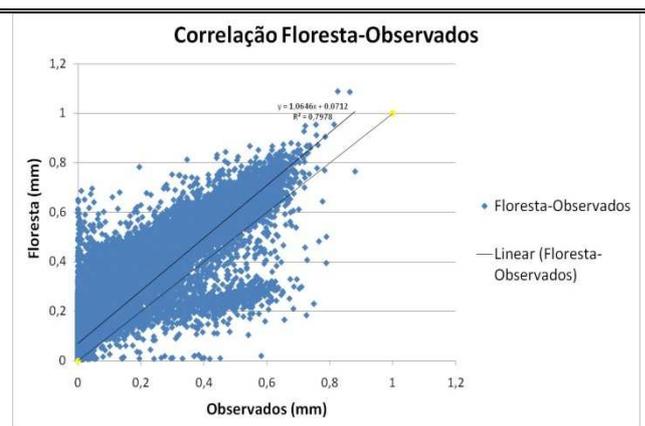


Figura 14. Correlação da evapotranspiração por hora dos dados Floresta-Observado

4.3.1.3 Umidade do solo

Nas áreas de platôs (Figuras 15,16 e 17) verifica-se que o modelo representou bem a umidade do solo na primeira camada (0-40 cm) e na segunda camada (40-180 cm). Na terceira camada (180-480 cm), a variabilidade da umidade do solo não foi bem representada, mostrando uma maior amplitude entre os máximos e os mínimos que nos valores observados.

Nas figuras 18,19, 20 e 21, correspondentes a pontos na vertente, nota-se que a umidade na terceira camada é menor que a da segunda, isso provavelmente se deve a proximidade do lençol freático. Verifica-se que no início da vertente (Figura 15) a umidade não foi bem representada na primeira e na segunda camada, superestimando seus valores, mas à medida que vai chegando ao final da vertente (Figura 21) a representação melhora. Na terceira camada a simulação da umidade do solo não ficou bem ajustada nos poços NP4 e NP6, sendo respectivamente

subestimado e superestimado, mas para todos os poços as variabilidades foram bem representadas.

No ecótono (figuras 22 e 23) obtiveram-se bons resultados na primeira camada, demonstrando uma boa representação da variabilidade da umidade no solo. Com tudo, a umidade do solo na segunda camada foi superestimada.

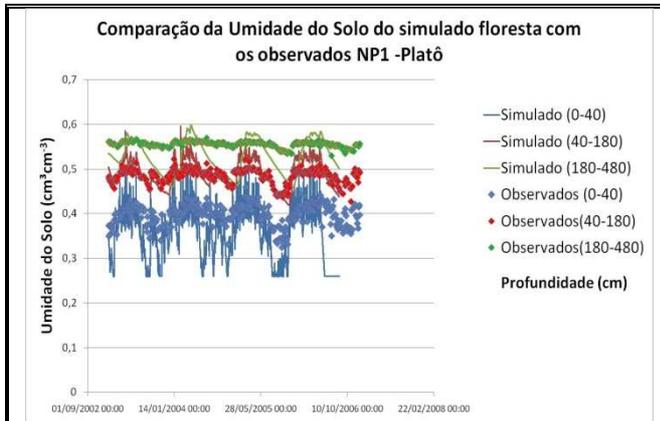


Figura 15. Comparação da umidade do solo – NP1 no Platô Floresta-Observado.

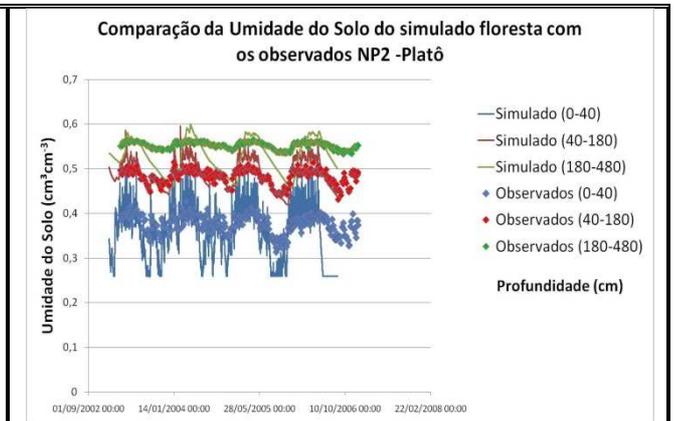


Figura 16. Comparação da umidade do solo – NP2 no Platô Floresta-Observado.

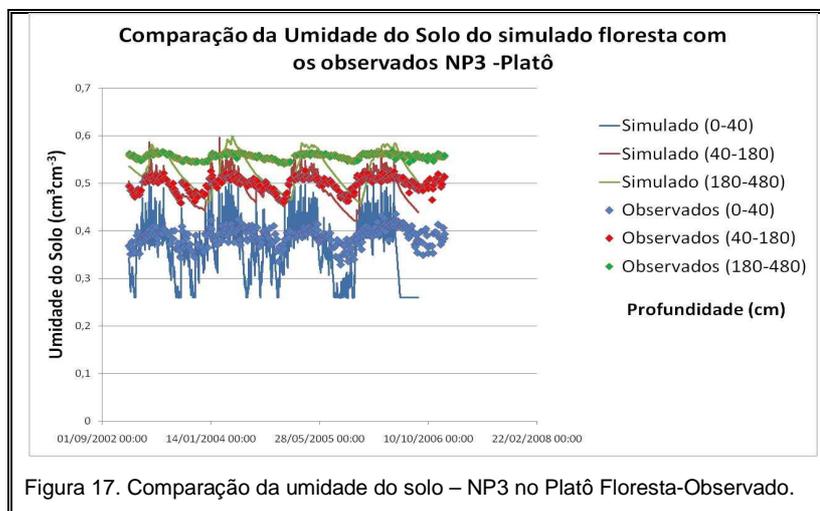


Figura 17. Comparação da umidade do solo – NP3 no Platô Floresta-Observado.

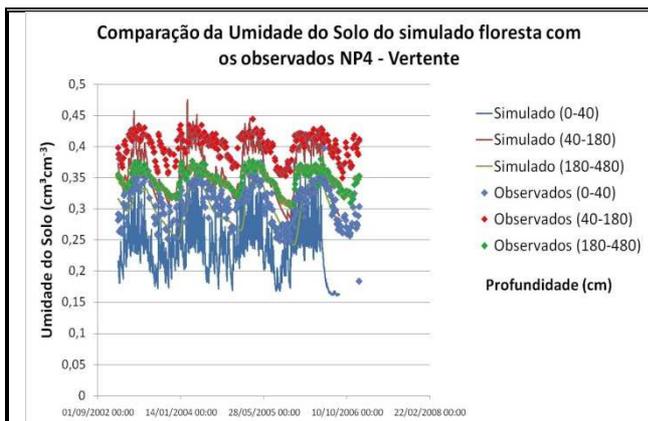


Figura 18. Comparação da umidade do solo – NP4 na Vertente Floresta-Observado.

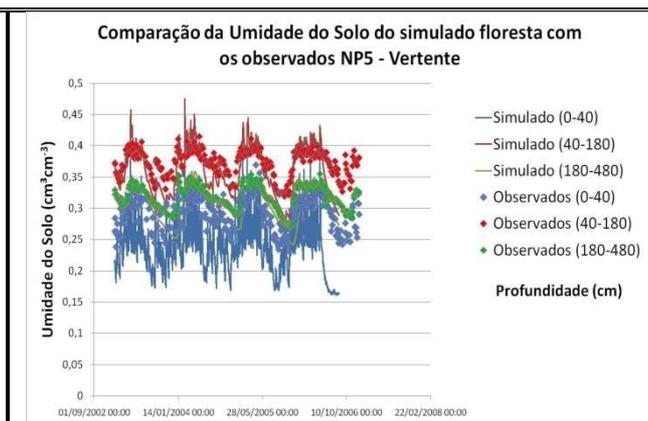


Figura 19. Comparação da umidade do solo – NP5 na Vertente Floresta-Observado.

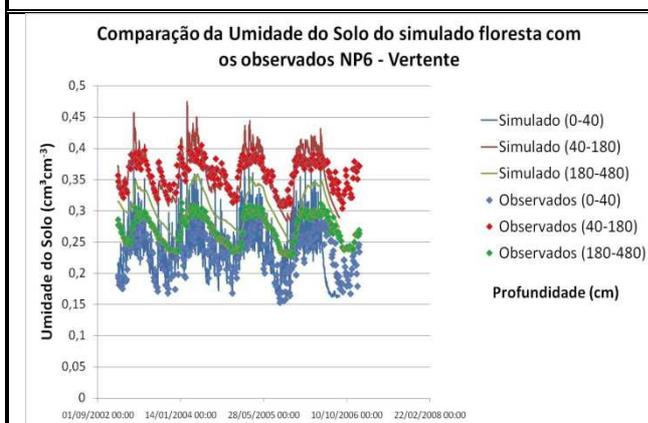


Figura 20. Comparação da umidade do solo – NP6 na Vertente Floresta-Observado.

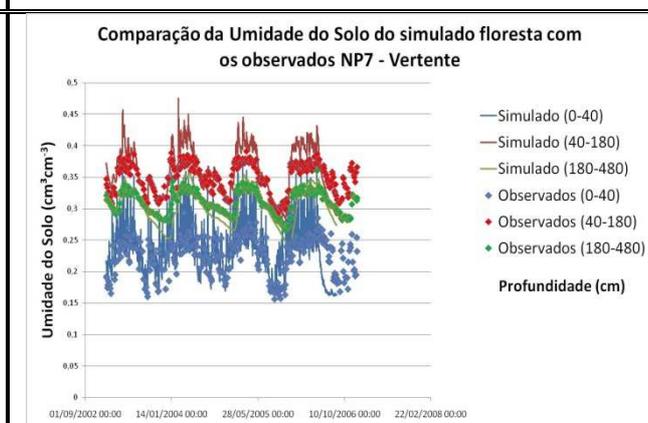


Figura 21. Comparação da umidade do solo – NP7 na Vertente Floresta-Observado.

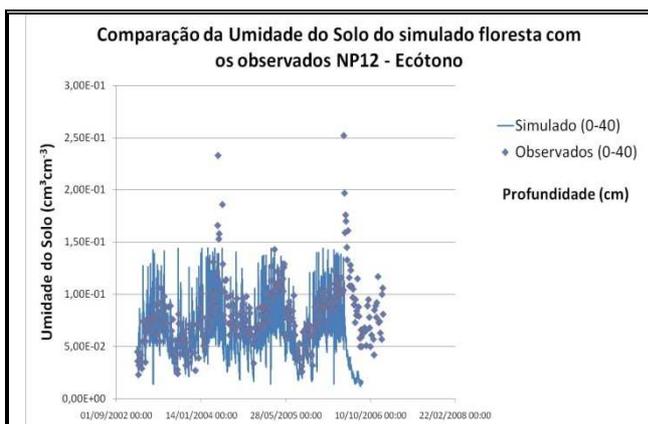


Figura 22. Comparação da umidade do solo – NP12 no Ecótono Floresta-Observado.

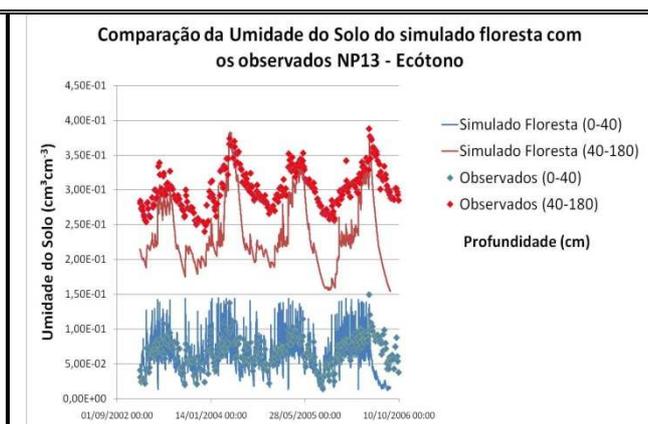


Figura 23. Comparação da umidade do solo – NP13 no Ecótono Floresta-Observado.

4.3.1.4 Nível Freático

Em todos os resultados (Figuras 24 a 31), o modelo não representou adequadamente a profundidade do nível do lençol freático, mas capturou a variabilidade do mesmo. Os valores foram subestimados na área de baixio com exceção dos poços T17 (Figura 25) e T18B (Figura 27) onde foram superestimadas as profundidades. Na área de platô o valor foi subestimado (Figura 30).

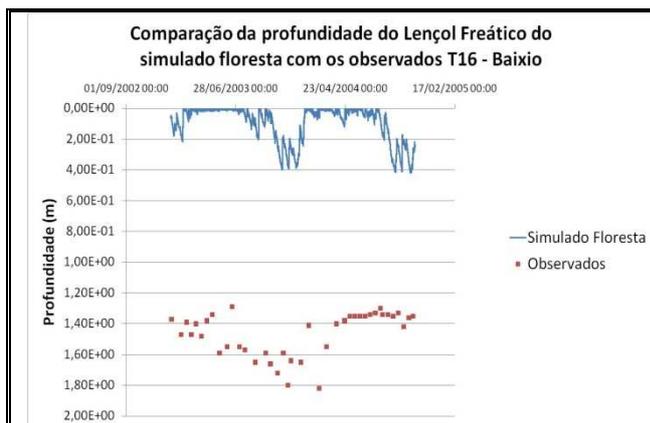


Figura 24. Comparação da profundidade do lençol freático – T16 no Baixio Floresta-Observado.

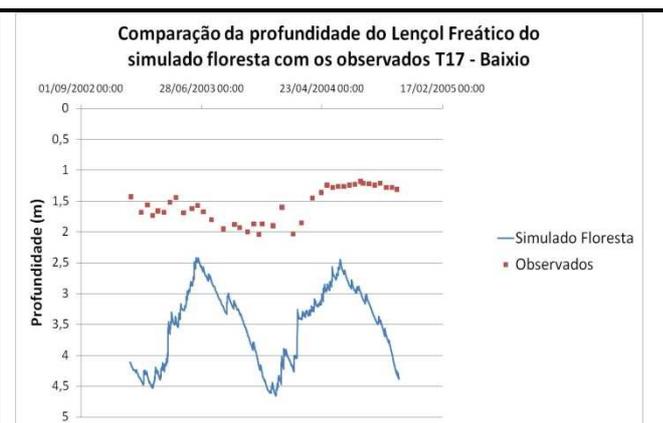


Figura 25. Comparação da profundidade do lençol freático – T17 no Baixio Floresta-Observado.

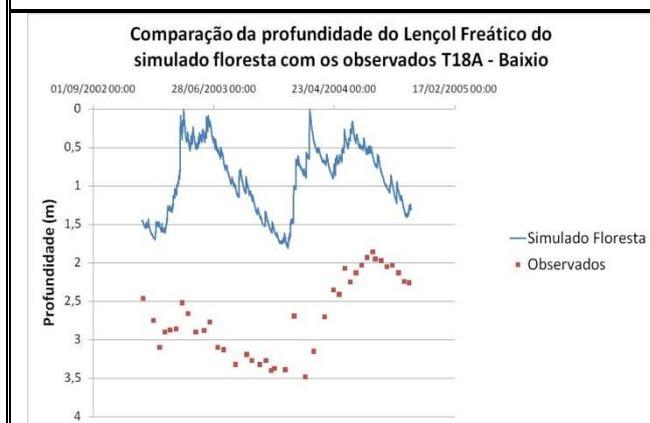


Figura 26. Comparação da profundidade do lençol freático – T18A no Baixio Floresta-Observado.

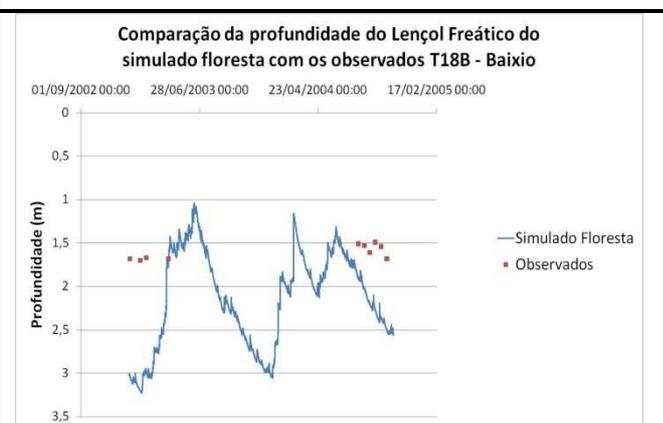


Figura 27. Comparação da profundidade do lençol freático – T18B no Baixio Floresta-Observado.

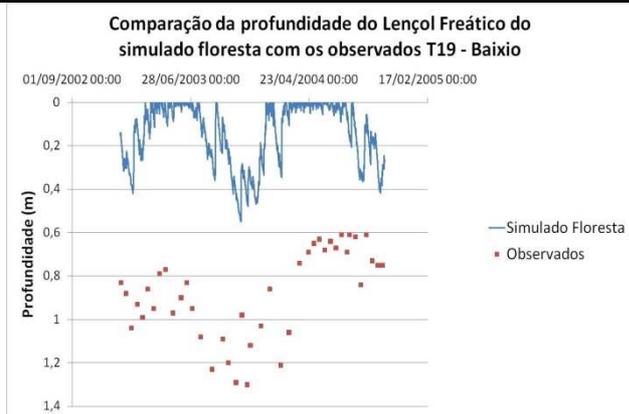


Figura 28. Comparação da profundidade do lençol freático – T19 no Baixo Floresta-Observado.

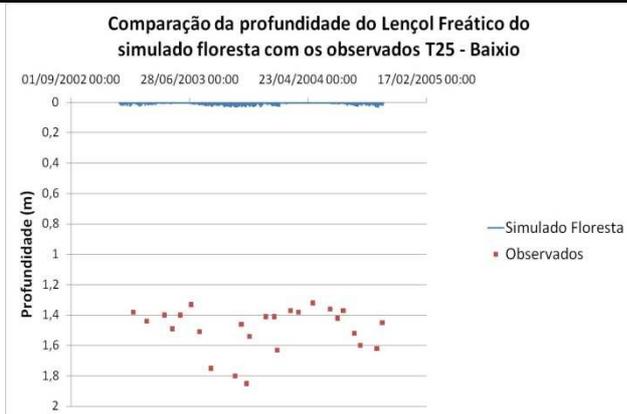


Figura 29. Comparação da profundidade do lençol freático – T25 no Baixo Floresta-Observado.

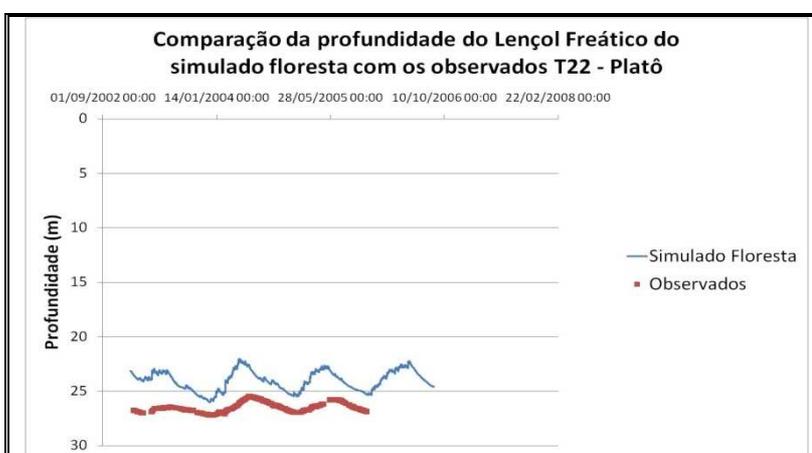


Figura 30. Comparação da profundidade do lençol freático – T22 no Platô Floresta-Observado.

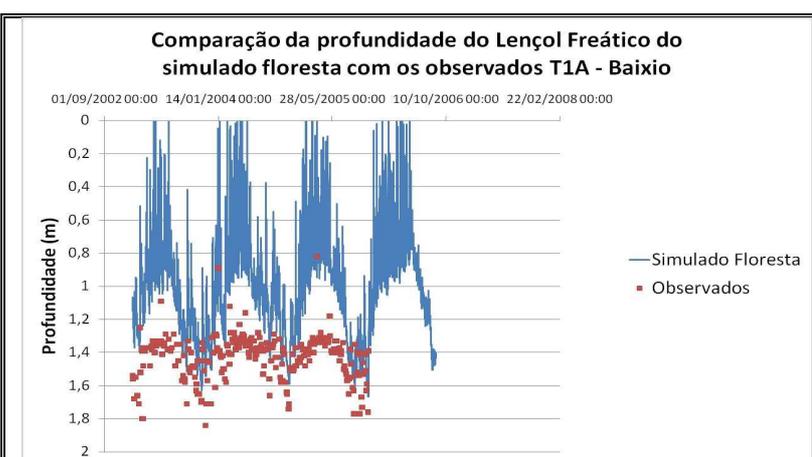


Figura 31. Comparação da profundidade do lençol freático – T1A no Baixo Floresta-Observado.

4.3.2 Comparações entre os resultados de CTL e EXP

4.3.2.1 Vazão

No geral a simulação EXP, considerando pastagem, apresentou maiores valores de vazão que a simulação CTL, considerando floresta (Figuras 32, 33 e 34). Tanto as vazões máximas quanto as mínimas foram superiores em EXP, mostrando, com tudo, a mesma variabilidade presente em CTL (Figura 35 a 40). Estes resultados foram como esperados, pois a redução da evapotranspiração aumenta o escoamento superficial.

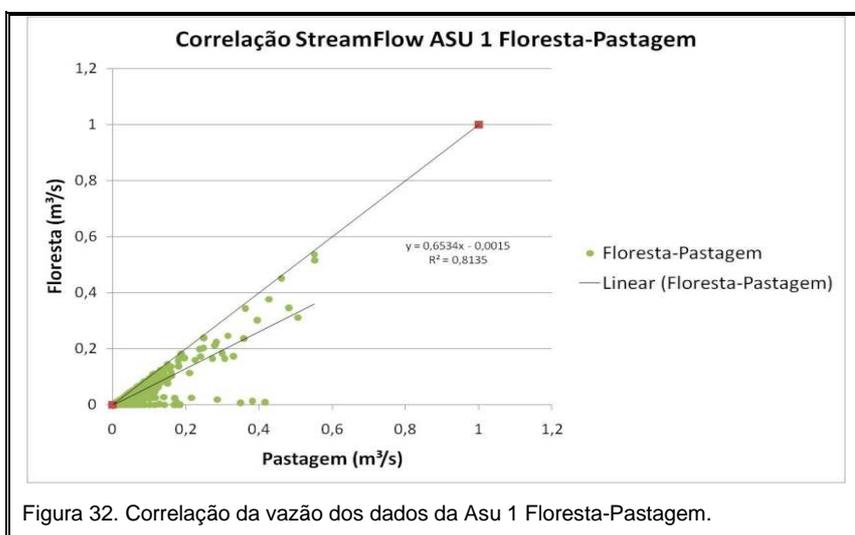


Figura 32. Correlação da vazão dos dados da Asu 1 Floresta-Pastagem.

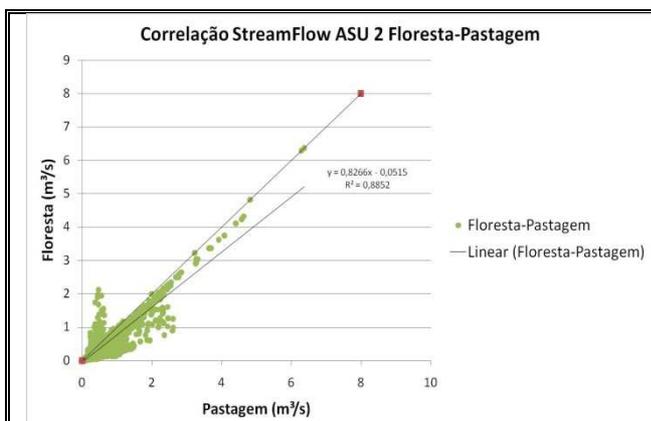


Figura 33. Correlação da vazão dos dados da Asu 2 Floresta-Pastagem.

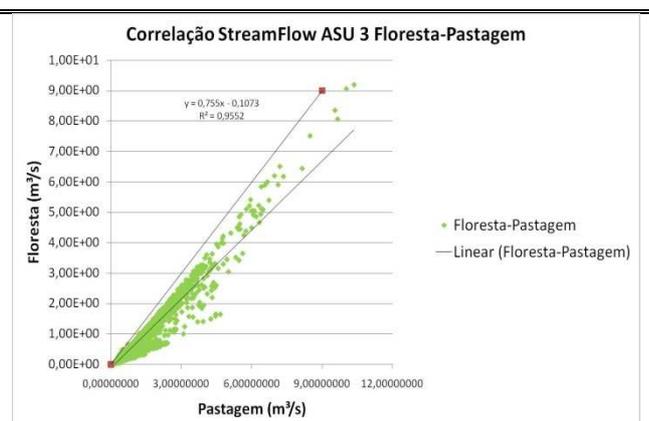


Figura 34. Correlação da vazão dos dados da Asu 3 Floresta-Pastagem.

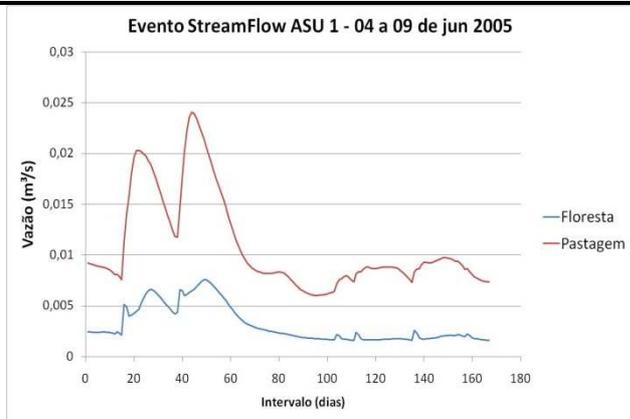


Figura 35. Evento-vazão no período de 04 a 09 de junho de 2005 dos dados da Asu 1 Floresta-Pastagem.

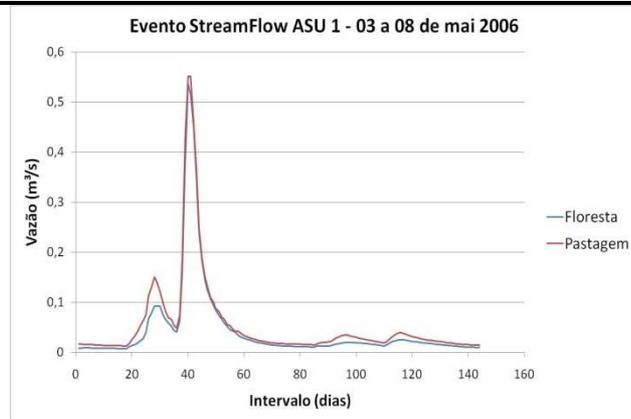


Figura 36. Evento-vazão no período de 03 a 08 de maio de 2006 dos dados da Asu 1 Floresta-Pastagem.

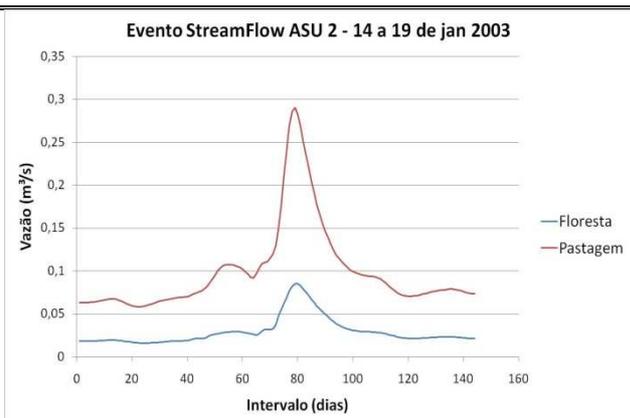


Figura 37. Evento-vazão no período de 14 a 19 de janeiro de 2003 dos dados da Asu 2 Floresta-Pastagem.

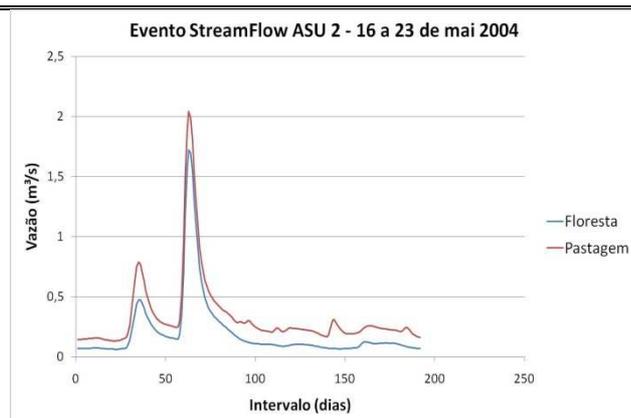


Figura 38. Evento-vazão no período de 16 a 23 de maio de 2004 dos dados da Asu 2 Floresta-Pastagem.

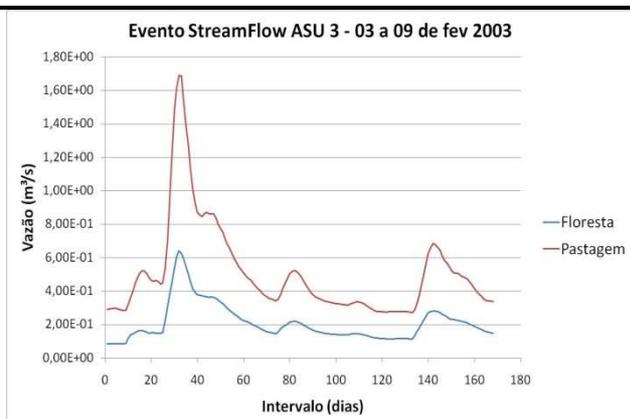


Figura 39. Evento-vazão no período de 03 a 09 de fevereiro de 2003 dos dados da Asu 3 Floresta-Pastagem.

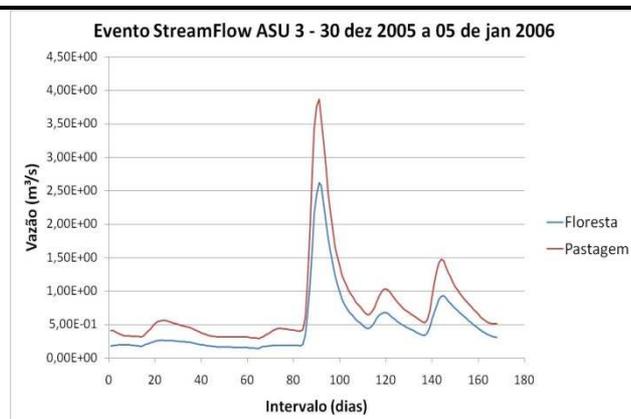


Figura 40. Evento-vazão no período de 30 dezembro a 05 de janeiro de 2006 dos dados da Asu 3 Floresta-Pastagem.

4.3.2.2 Evapotranspiração

Os resultados de EXP apresentam uma boa correlação com os de CTL (Figura 41). Os resultados de EXP foram menores que os obtidos de CTL, representando bem o esperado ao substituir uma vegetação alta por uma menor na bacia (Figura 42). Com tudo, a redução na evapotranspiração foi menor que a esperada.

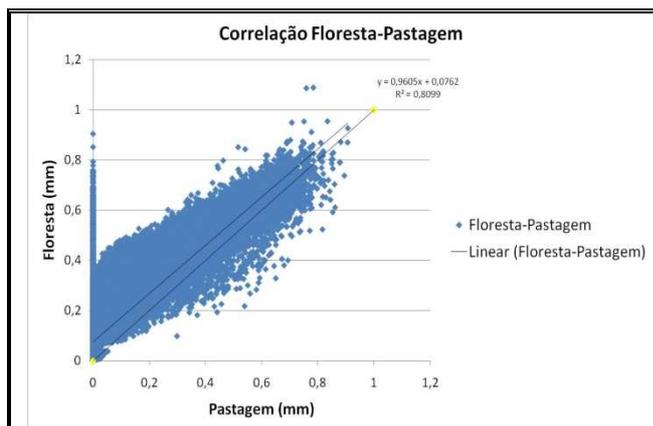


Figura 41. Correlação da evapotranspiração por hora dos dados Floresta-Pastagem.

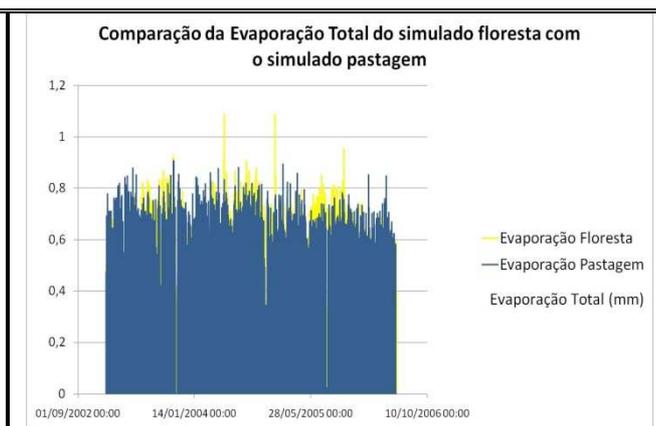


Figura 42. Comparação da evapotranspiração por hora dos dados Floresta-Pastagem.

4.3.2.3 Umidade do solo

Nota-se que não houve muitas mudanças na umidade do solo simulada na primeira camada no platô (Figuras 43, 44 e 45), vertente (Figuras 46 a 49) e ecótono (Figuras 50 e 51), demonstrando praticamente à mesma umidade e variação. Na segunda camada tanto no platô como na ecótono os valores foram maiores em EXP, ainda seguindo a mesma variabilidade. Nas vertentes a umidade do solo teve valores similares em EXP e CTL. Todos os valores da terceira camada encontrados no platô e na vertente foram superiores no caso da simulação EXP, considerando pastagem. De acordo com a literatura espera-se que o conteúdo de umidade do solo diminua quando a floresta é trocada por pastagem na bacia, uma vez que o conjunto de liteiras e raízes na floresta favorecem a permanência da água sobre a superfície, alongando o tempo disponível para sua infiltração no solo. Os resultados obtidos nas simulações podem ser associados ao fato do modelo não representar esta retenção

de água superficial, e de que a capacidade de infiltração do solo não foi modificada, uma vez que o tipo de solo não foi alterado na simulação EXP.

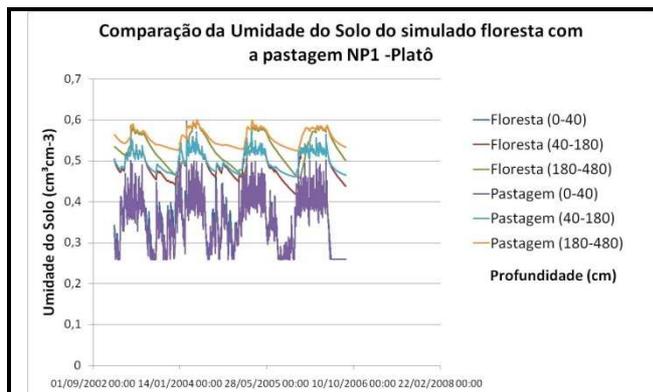


Figura 43. Comparação da umidade do solo – NP1 no Platô Floresta-Pastagem.

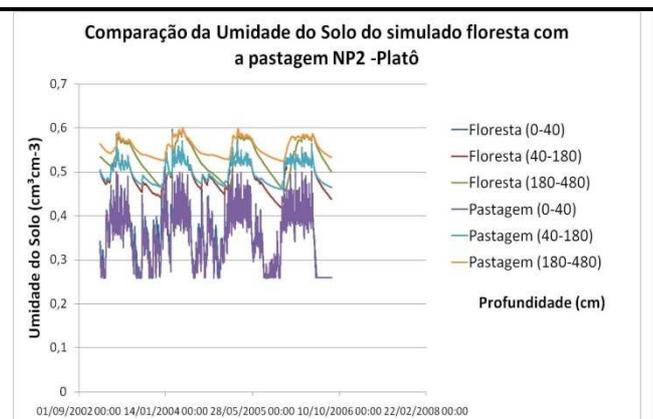


Figura 44. Comparação da umidade do solo – NP2 no Platô Floresta-Pastagem.

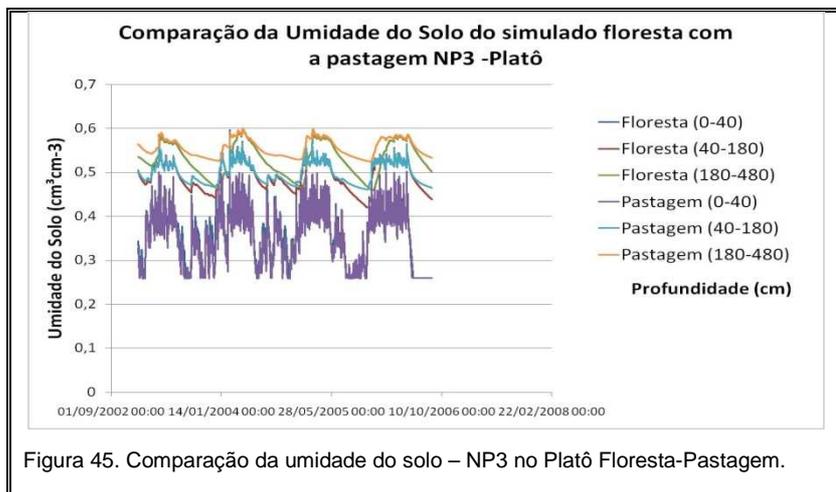


Figura 45. Comparação da umidade do solo – NP3 no Platô Floresta-Pastagem.

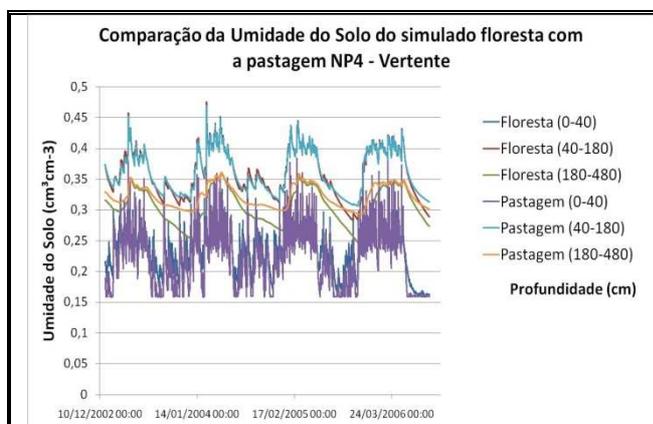


Figura 46. Comparação da umidade do solo – NP4 na Vertente Floresta-Pastagem.

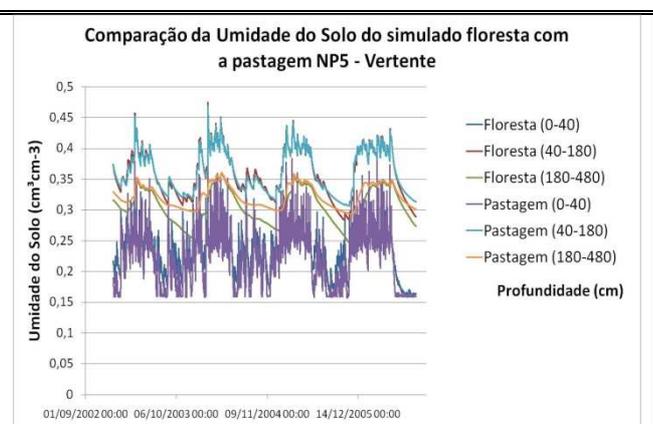


Figura 47. Comparação da umidade do solo – NP5 na Vertente Floresta-Pastagem.

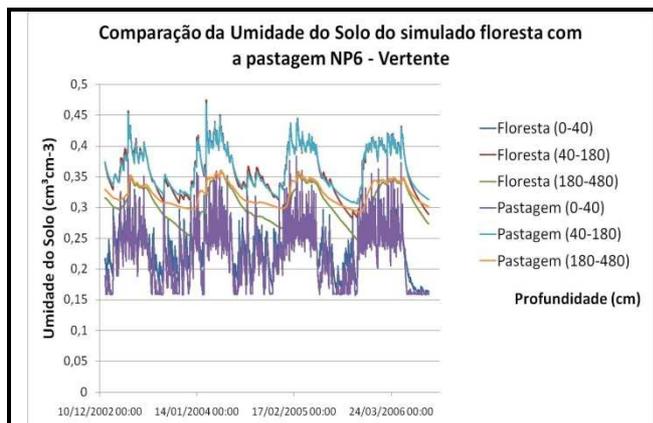


Figura 48. Comparação da umidade do solo – NP6 na Vertente Floresta-Pastagem.

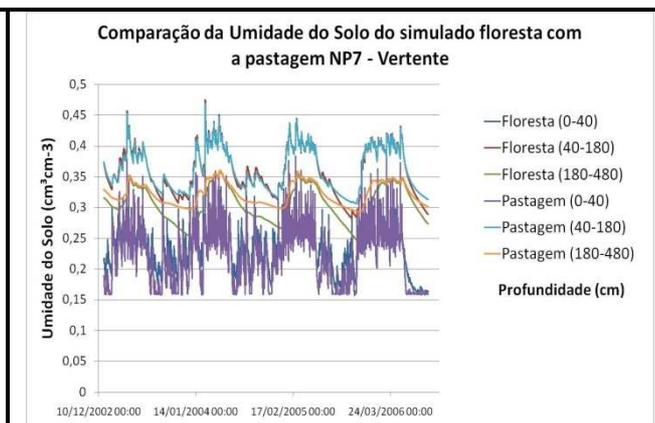


Figura 49. Comparação da umidade do solo – NP7 na Vertente Floresta-Pastagem.

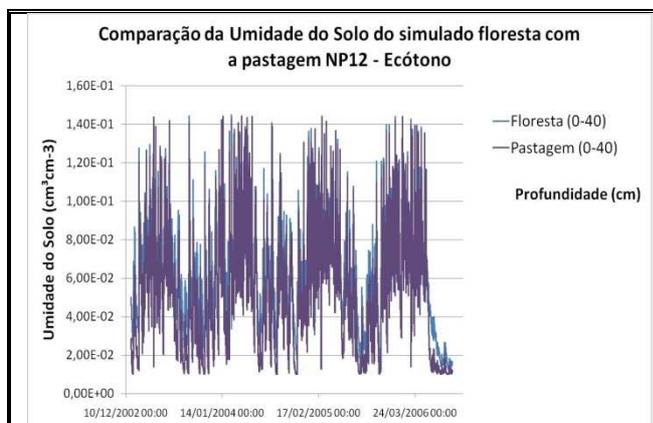


Figura 50. Comparação da umidade do solo – NP12 no Ecótono Floresta-Pastagem.



Figura 51. Comparação da umidade do solo – NP13 no Ecótono Floresta-Pastagem.

4.3.2.4 Nível Freático

Os resultados de EXP, considerando pastagem, demonstram que o nível de água do lençol freático aumenta quando há troca da floresta (Figuras 52 a 59). Essa variação no nível do lençol freático estaria associada com um maior aporte de água às camadas profundas, alimentado por uma maior infiltração.



Figura 52. Comparação da profundidade do lençol freático – T16 no Baixo Floresta-Observado.

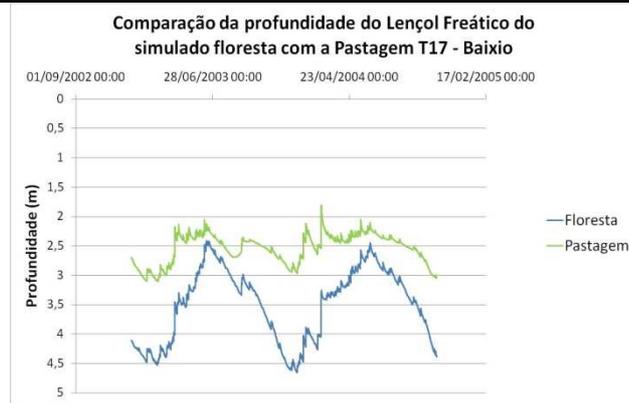


Figura 53. Comparação da profundidade do lençol freático – T17 no Baixo Floresta-Observado.



Figura 54. Comparação da profundidade do lençol freático – T18A no Baixo Floresta-Observado.



Figura 55. Comparação da profundidade do lençol freático – T18B no Baixo Floresta-Observado.



Figura 56. Comparação da profundidade do lençol freático – T19 no Baixo Floresta-Observado.

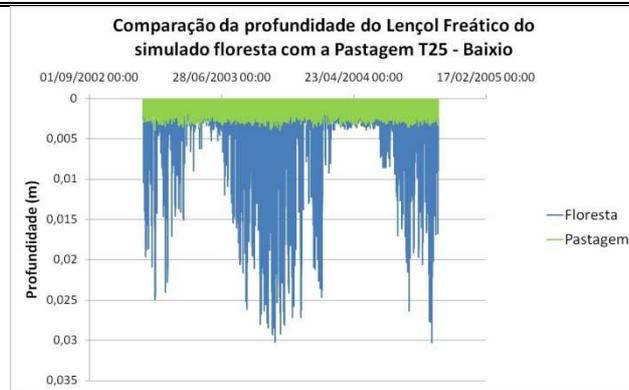
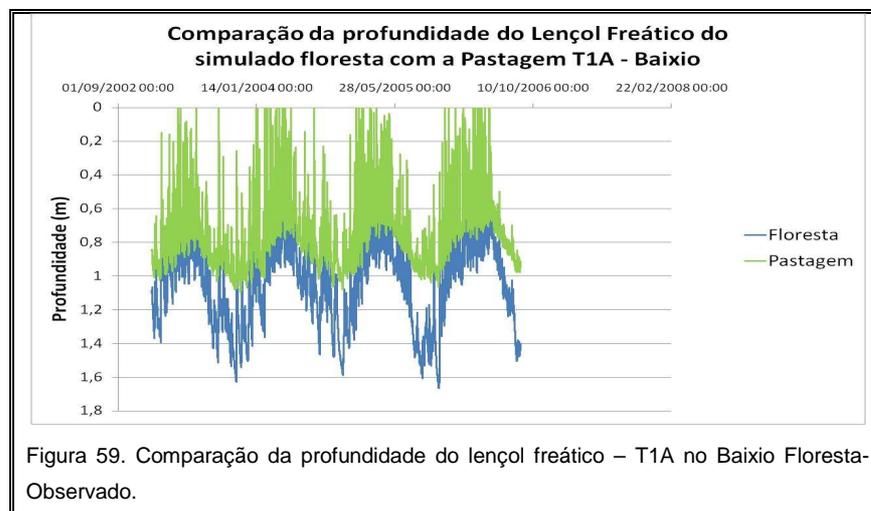
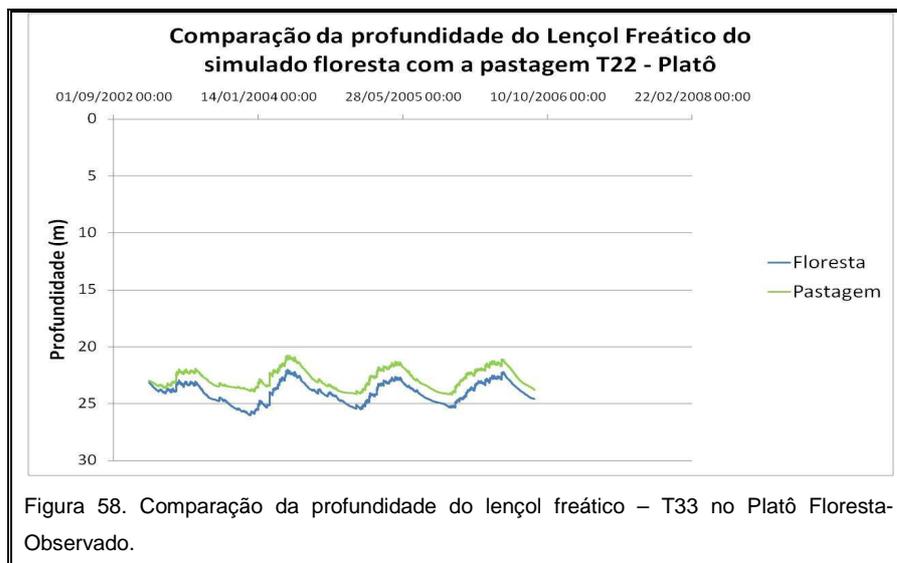


Figura 57. Comparação da profundidade do lençol freático – T25 no Baixo Floresta-Observado.



5 CONCLUSÕES E TRABALHOS FUTUROS

O modelo DHSVM simulou adequadamente a variação das diferentes componentes do balanço hídrico na micro-bacia Asu. Também os impactos nestas componentes quando existe a troca da floresta por pastagem apresentaram em geral, resultados de acordo com a literatura.

As vazões foram mais bem representadas na estação que compreende a maior área, Asu 3, enquanto que na bacia de primeira ordem, Asu 1, a correlação com as observações foi insatisfatória. Tais resultados podem estar associados com a resolução e qualidade do Modelo Digital de Terreno utilizado. A simulação da evapotranspiração foi adequada, mas mostrando superestimativa dos valores. O conteúdo de umidade no solo foi em geral bem simulado pelo modelo. Nos pontos

correspondentes ao platô da bacia, o conteúdo de umidade do solo na camada mais profunda não foi bem simulado. Nos pontos correspondentes à vertente, o modelo capturou a inversão no conteúdo de umidade entre a camada de solo intermediária e a camada inferior. A profundidade do nível freático não foi bem representada em nenhum dos poços analisados, mas a variabilidade temporal da mesma foi capturada pelo modelo.

O modelo também apresentou resultados em geral em acordo com o esperado na simulação considerando uma cobertura de pastagem na bacia. A evapotranspiração simulada considerando pastagem foi menor que a do caso de floresta. Também como esperado, as vazões foram superiores no caso da pastagem. O conteúdo de umidade do solo foi maior no caso da simulação com pastagem e, em acordo com isto, a profundidade do nível freático foi menor. Este resultado pode ser devido ao fato de não ter sido traçadas as características do solo na bacia, em especial a capacidade de infiltração do mesmo.

As simulações atuais foram realizadas sem uma calibração prévia do modelo, utilizando valores de parâmetros obtidos de observações na bacia Asu, no caso de floresta, e em outras regiões documentadas na literatura, no caso da pastagem. Análises de sensibilidade dos parâmetros incluídos no modelo, e seu posterior ajuste, podem ajudar a identificar aqueles parâmetros que possuem um maior impacto na simulação da mudança do uso do solo.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- TUCCI, C.E.M. **Modelos Hidrológicos**. Editora da UFRGS ABRH 678p, 2005.
- TUCCI, C.E.M. **Hidrologia – Ciência e Aplicação**. Editora da UFRGS 942p, 1993.
- SILVA, L.C. *et al.* **Variação Diurna da Resistência Estomática à Difusão de Vapor de Água em Amendoim Torrado**. 1997.
- MULLER, A.G. *et al.* **Estimativa do Índice de Área foliar do milho a partir da soma de graus-dia**. Revista Brasileira de Agrometeorologia, Santa Maria, v. 13, n. 1, p. 65-71, 2005.
- CUARTAS PINEDA. L.A. **Estudo Observacional e de Modelagem Hidrológica de uma Micro-Bacia em Floresta Não-Perturbada na Amazônia Central**. INPE – Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais, São José dos Campos, SP, 236p, 2008.
- BRUNJNZEEL, L. A. **Hydrological functions of tropical forests: not seeing the soil for the trees?** *Agriculture, Ecosystems & Environment*. v.104, p.185-228, 2004.
- TRONCOSO, Ralph. **Mudanças na cobertura da terra e alterações na resposta hidrológica de bacias hidrográficas na Amazônia**. Dissertação de Mestrado INPA/UFAM – Manaus- 2006.
- TOMASELLA, J *et al.* **The Water balance of Amazonian micro-catchment: the effect of interannual variability of rainfall on hydrological behaviour**. *Periódico Hydrological Process*, v22, p.2133-2147, 2008.
- SINGH, V.P; FREVERT, D.K. **Mathematical Models of Small Watershed Hydrology and Applications**. Highlands Ranch, Colorado, Estados Unidos, 2002.
- SILVIA, L; SANTOS, A.R.S; BRENNER, T.L. **Geração de Modelo Digital de Elevação a partir de Imagens Reference Stereo do Satélite IKONOS**. Anais XIII Simpósio Brasileiro de Sensoriamento Remoto, Florianópolis, Brasil, 21-26 abril 2007, INPE, p. 581-587.
- YANAGI, S.N.M. **Albedo de uma Floresta Tropical Amazônica: medições de campo, sensoriamento remoto, modelagem, e sua influencia no clima regional**. 2006. Disponível em:
<http://www.tede.ufv.br/tedesimplificado/tde_busca/arquivo.php?codArquivo=347>
Acesso em: 22 jan. 2009.

FRANCO, R.A.M; HAGA, K.I; HERNANDEZ, F.B.T. **Evaporação do solo mais transpiração vegetal igual a Evapotranspiração.** Faculdade de Engenharia de Ilha Solteira, UNESP – Universidade Estadual Paulista. Disponível em:

<<http://www.agr.feis.unesp.br/evapotranspiracao.php>> Acesso em : 23 jan. 2009

AGUIAR, L.J.G. **Balço de radiação em áreas de floresta e de pastagem em Rondônia.** Viçosa, MG, 2007.

ALVALÁ, R.C.S; GIELOW, R. **Modelo de balanço de energia em área de pastagem na Amazônia Central.** INPE – Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais, São José dos Campos, SP, 1993.

CARUZZO, A; ROCHA, H.R. **Estimativa do Índice de Área Foliar (IAF) em Regiões de Floresta com um método indireto ('gap fraction') durante o Experimento AMC/LBA-1999.** 1999.

APÊNDICE A - Tabela das comparações dos parâmetros utilizados em floresta e pastagem

A Tabela 1 a seguir apresenta os valores limiares utilizados como parâmetros de vegetação para floresta entre dossel inferior e dossel superior em comparação aos parâmetros usados em pastagem.

Característica	Valor (Floresta) Vegetação do Platô e Declive	Valor (Floresta) Vegetação do baixio e Campinarana	Valor (Pastagem)
Albedo	0,12 a 0,14	0,12 a 0,14	0,18
Índice de área Foliar	3m / 30m	2m / 25m	30cm
Altura da Pastagem	3,2 / 7,3	3,0 / 7,0	2,63
Máxima resistência estomática	2787,5 s m ⁻¹ / 5000 s m ⁻¹	2787,5 s m ⁻¹ / 3600 s m ⁻¹	700 s m ⁻¹
Mínima resistência estomática	285,7 s m ⁻¹	185,7 s m ⁻¹	150 s m ⁻¹
Limiar de Pressão do Vapor d'água	4000	4000	4000
Radiação fotossinteticamente ativa para fechamento dos estômatos	0,10	0,10	0,46

Tabela 1. Parâmetros de vegetação para floresta e pastagem.