

**IMPACTOS OCASIONADOS PELA MUDANÇA DE USO DO SOLO
NO CICLO HIDROLÓGICO UTILIZANDO O MODELO SWAT****Julio Anggas Saenz¹ e Mônica Rodrigues Queiroz²**¹Aluno do Curso de Engenharia Ambiental, UNINORTE – LAUREATE. E-mail: julioanggas@gmail.com;²Docente do Curso de Engenharia Ambiental, UNINORTE – LAUREATE. E-mail: monica.queiroz@uninorte.com.br;

Artigo apresentado em dezembro/2016

RESUMO

A modelagem de bacias hidrográficas tem se tornado cada vez mais importante, já que possibilita a elaboração de simulação de escoamentos, evolução da disponibilidade e da qualidade da água, ter uma visão hidrologia da área a ser estudada. Este trabalho tem como objetivo aplicar o modelo SWAT, avaliar as mudanças de uso de solo, e o balanço hídrico. Os dados utilizados foram o MNT (Modelo Numérico de Terreno), solo, uso do solo e dados climáticos. Uma vez com todas essas informações o modelo SWAT possibilitou a obter a porcentagem de água, área antropizadas e vegetação nativa nos dois anos de estudo, 1984 e 2011, na bacia hidrográfica do Igarapé do Quarenta, foi feito também a classificação supervisionada onde é visível a distinção dos 3 tipos de áreas diferentes. Para a cidade de Manaus – AM obteve-se um o valor de 60,5% de

vegetação no ano de 1984 e 35% no ano de 2011, já para as áreas antropizadas foi de 33,5% em 1984 e 55% em 2011. E no Igarapé do Quarenta 65,06% de vegetação nativa no ano de 1984 e 26.64 para o ano de 2011, e 29,722 para áreas antropizadas no ano de 1984 e 71,123% para o 2011. Conclui-se que o modelo apresentou um resultado positivo ao analisar o balanço hídrico no Igarapé do Quarenta, levando em conta as intensas mudanças de uso do solo de cada período, principalmente em virtude do aumento do desmatamento da área de estudo.

PALAVRAS-CHAVE: SWAT, geoprocessamento, balanço hídrico, NDVI.**IMPACTS BY THE CHANGE USE SOIL
IN THE HYDROLOGICAL CYCLE USING THE SWAT MODEL****ABSTRACT**

The modeling of watersheds has become increasingly important, since it allows the elaboration of simulation of flows, evolution of availability and water quality, to have a hydrological view of the area to be studied. This work aims to apply the SWAT model, to evaluate changes in soil use, and the water balance. The data used were the MNT (Numerical Model of Land), soil, land use and climatic data. Once with all this information the SWAT model allowed to obtain the percentage of water, anthropic area and native vegetation in the two years of study, 1984 and 2011, in the basin of Igarapé Quarenta, a supervised classification was also made where the Different types

of areas. For the city of Manaus - AM, the value of 60.5% of vegetation was reached in the year 1984 and 35% in the year 2011, while for the anthropic areas it was 33.5% in 1984 and 55% in 2011 And in the Igarapé Quarenta 65.06% of native vegetation in the year of 1984 and 26.64 for the year of 2011, and 29,722 for areas antropizadas in the year of 1984 and 71,123% for 2011. It is concluded that the model presented a result Positive results when analyzing the water balance in the Igarapé Quarenta, taking into account the intense changes in land use in each period, mainly due to the increase in deforestation in the study area..

KEY-WORDS: SWAT, geoprocessing, water balance, NDVI.

IMPACTOS OCACIONADOS PELA MUDANÇA DE USO DO SOLO NO CICLO HIDROLÓGICO UTILIZANDO O MODELO SWAT

1. INTRODUÇÃO

Há água suficiente para atender todas as necessidades da espécie humana, porém uma análise dos países membros das Nações Unidas, onde 90% da população tem acesso a água limpa para consumo e somente 80% com coleta de tratamento de esgoto nas cidades (TUNDISI, 2011).

O ciclo hidrológico é um fluxo fechado da água entre a atmosfera e a superfície terrestre, impulsionado pela energia solar, rotação terrestre e a gravidade. A superfície terrestre constituída por continentes (camada porosa: rochas e solos), e os oceanos (TUCCI 2007).

O maior desafio para os cientistas é criar modelos matemáticos para entender as mudanças de clima que por sua vez é caótico e não linear, porém existem modelos matemáticos com algoritmos já pré-estabelecidos que auxiliam nessa tarefa complexa (ROBERT, 2012).

Ciclo hidrológico é a circulação da água e a superfície e a atmosfera terrestre em uma escala global, impulsionada pelos seguintes fatores: Energia solar, rotação da terra e gravidade. Um ciclo fechado, em outras palavras existe sempre a mesma quantidade de água no planeta, diferente da disponibilidade da água, onde devido aos acontecimentos de vários fenômenos como EL Niño e La Niña, que provocam variações na circulação atmosférica, criando desequilíbrio no balanceamento da água em várias regiões (NOGUEIRA, 2014).

O balanço hídrico está associado à contagem da água, com entrada e saídas, chuvas e evaporação respectivamente, fisicamente associa-se ao princípio de conservação de massa (LUCIENA, 2015).

O modelo (Soil & Water Assessment Tool) SWAT, permite inúmeros processos físicos a serem aplicados em bacias hidrográficas, já que é um modelo matemático distribuído, e tem como objetivo a análise dos impactos na alteração do solo sobre o escoamento superficial e subterrâneo, sedimentos, vazão de uma bacia hidrográfica (SRINIVASAN, 1994.).

Antes da fase de calibração dos modelos hidrológicos é realizada uma análise de sensibilidade dos parâmetros, isso serve para poder identificar os parâmetros mais importantes, posteriormente pode ser feito a automação dos dados, ou mesmo manual (SALLES, 2012).

Manaus tornou-se uma metrópole importante não somente com a implantação da zona franca, mas também com a SUFRAMA, INPA, Fundação Universidade da Amazônia. Estima-se que mesmo antes da proclamação da república, Manaus teria menos de 10 mil habitantes, e no fim do ciclo da borracha 75 mil habitantes. Em 1970 quando a Zona franca começava a dar seus primeiros passos, a cidade deu um salto, chegando a 281 685 (AZIZ NACIB AB'SÁBER, 2004).

A taxa de desmatamento sofreu aumento de 16% em relação a 2014, em que foram medidos 5.012 km². No entanto, a taxa atual representa uma redução de 79% em relação à registrada em 2004, ano em que foi iniciado o (PPCDAm), Plano para Prevenção e Controle do Desmatamento na Amazônia (INPE, 2015).

O objetivo deste trabalho é calcular o balanço hídrico do Igarapé do Quarenta nos anos de 1984 e 2011, influenciado pelas mudanças do uso do solo, com o uso do modelo SWAT.

2. MATERIAL E MÉTODOS

2.1 Área de Estudo

O Igarapé do Quarenta (Figura 1), é uma bacia que constitui a principal bacia formadora da bacia de Educandos. Esta vai da foz até a Avenida Presidente Castelo Branco, e a partir desse limite até alcançar a nascente no bairro Zumbi, é que ela passa a ser denominada de Igarapé do Quarenta (Oliveira, 2003).

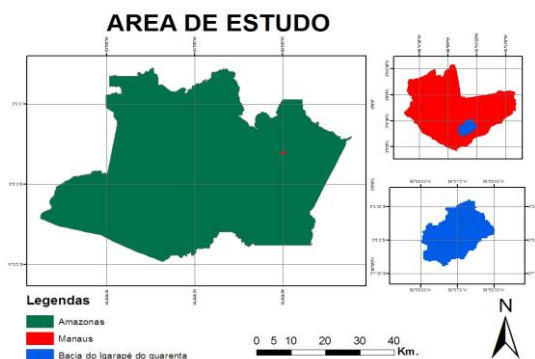


Figura 1: Localização da área de estudo, Igarapé do Quarenta – Manaus – AM.

2.2 Dados

2.2.1 Imagens de Satélite

As imagens de satélite baixadas do site do INPE - Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais (INPE, 2016), nos anos de 1984 e 2011, do satélite LANDSAT 5 TM, das bandas 3 e 4, com as órbitas, pontos, e coordenadas geográficas (Tabela 1).

Tabela 1: Tabela de dados dos anos de 1984 e 2011.

	1984	2011
Local	Igarapé do Quarenta	Igarapé do Quarenta
Satélite	LANDSAT 5 TM	LANDSAT 5 TM
Banda	3 e 4	3 e 4
Orbita	231	231
Ponto	62	62
Latitude Norte	-1.98746	-1.98797
Longitude Oeste	-61.19980	-61.25550
Latitude Sul	-3.79864	-3.79750
Longitude Leste	-59.83190	-59.88880
Datas	24 de novembro	31 de agosto

O NDVI (Normalized Difference Vegetation Index) ou IVDN (Índice de Vegetação por Diferença Normalizada) é expresso pela razão entre a diferença da medida da refletância nos canais do infravermelho próximo e vermelho e a soma desses canais (Rouse et al., 1974). Este índice varia de -1 a 1. Quanto maior o valor do índice maior a presença de vegetação. Como vantagem tem-se a redução de muitas formas e ruídos (diferenças de iluminação, sombras de nuvens, algumas atenuações atmosféricas, algumas variações topográficas) presentes em múltiplas bandas de múltiplas datas. Logo foi realizada a classificação supervisionada, onde é

identificar na imagem uma área representativa de cada classe, neste trabalho foi selecionado três tipos: azul para à água, verde para vegetação e amarelo para área antropizadas.

Para obtenção dos dados foi empregado a seguinte fórmula:

$$\text{NDVI} = \frac{\text{b4} - \text{b3}}{\text{b4} + \text{b3}} \text{ (Eq 1).}$$

Onde:

b3 = banda 3

b4 = banda 4

2.2.3 SOLO

Obteve-se o mapa do solo, disponibilizado no site da EMBRAPA. (EMBRAPA, 2016).

2.2.4 MNT

O MNT (Modelo Numérico do Terreno) baixado do site da CGICAR-CSI (Consortium for Spatial Information), (SRTM, 2016).

2.2.5 CLIMA

Para os dados do clima foi solicitado do site globalweather (GLOBALWEATHER, 2016), com período de dados de 1979 a 2011 com os seguintes indicadores: Temperatura °C, Precipitação mm, Vento m/s, Umidade Relativa fração, Radiação Solar MJ/m2.

Uma vez tendo obtido todas estas informações foi preciso realizar a instalação de uma extensão chamada de ARCSWAT dentro do software Arcgis para os devidos fins de modelagem da bacia.

2.3 Modelo SWAT

O software Soil and Water Assessment Tool (SWAT), é uma ferramenta disponibilizado ao público em geral, onde os usuários podem fazer uso dos recursos, onde pode se obter os resultados de acordo com as necessidades, modelagem e poluição das bacias é uma das mais aplicadas, (ROSBJERG, 2010).

O modelo SWAT tem como uma das finalidades, simular a qualidade, quantidade das águas superficiais e do solo, prever o impacto ambiental do uso do solo, práticas de gestão da terra e mudanças climáticas. SWAT é amplamente utilizado para avaliar a prevenção da erosão do solo e controle, controle de poluição não pontual e gestão regional nas bacias hidrográficas (JIE et al., 2010).

O SWAT é integrado a um Sistema de Informação Geográfica (SIG), e requer informações específicas sobre o clima, solo, topografia, vegetação e práticas de manejo que ocorrem na bacia. Para a simulação, a bacia hidrográfica é dividida em sub-bacias.. O modelo realiza o delineamento da bacia hidrográfica, das sub-bacias e da rede hidrográfica baseado no modelo numérico de terreno (MNT), sendo possível também a inserção de uma rede hidrográfica digitalizada.

O modelo requer como dados de entrada, em especial as condições de contorno:

- I. O modelo numérico de terreno (MNT);
- II. Mapa de solos e suas propriedades;
- III. Mapa de vegetação ou uso do solo e suas propriedades;

2.3.1 EQUAÇÃO DO BALANÇO HÍDRICO

$$SW_t = SW_0 + \sum_{i=1}^t (R_{day} - Q_{surf} - E_a - w_{seep} - Q_{gw}) \quad (\text{equação 1})$$

Onde:

SW_t = quantidade final de água no solo (mm)

SW_0 = quantidade inicial de água no solo (mm)

R_{day} = precipitação diária total (mm)

Q_{surf} = escoamento superficial total (mm)

E_a = evapotranspiração total (mm)

w_{seep} = percolação total (mm)

Q_{gw} = fluxo de retorno total (mm)

2.3.2 EQUAÇÃO DO ESCOAMENTO SUPERFICIAL

$$Q_{surf} = \frac{(R_{day} - I_a)^2}{(R_{day} - I_a + S)} \quad (\text{equação 2})$$

Onde:

Q_{surf} = escoamento superficial total (mm)

R_{day} = precipitação diária total (mm)

I_a = abstração inicial que abrange o armazenamento no terreno, a interceptação e a infiltração no solo antes de iniciar o escoamento superficial (mm)

S = parâmetro de retenção (mm).

2.3.3 ETAPAS DO MODELO SWAT

Para obter os resultados esperados, foi necessário utilizar como dado de entrada do modelo uma série de dados (Figura 2), entre elas o MNT (Modelo Numérico de Terreno), dados de clima, solo e uso do solo, o modelo SWAT é responsável em processar toda essa informação e mostrar diversas mudanças na bacia hidrográfica, pelo processo natural ou intervenção humana.

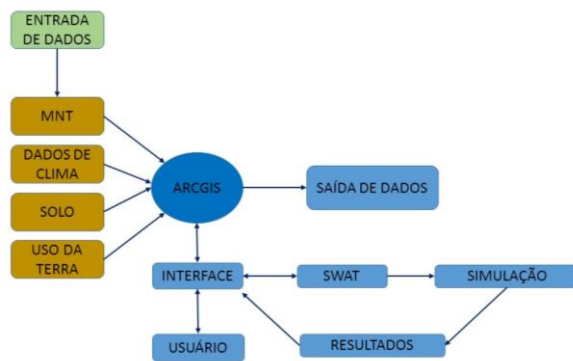


Figura 2: Fluxograma das etapas do modelo SWAT.

3. RESULTADOS E DISCUSSÃO

MODELO NUMERICO DE TERRENO

Através da utilização do Modelo Numérico de Terreno criou-se um modelo com da Bacia do Igarapé do Quarenta, com extensão de 14,976 km², onde a altitude mínima encontrada foi de 24 metros e a altitude máxima de 101 metros (Figura 3).

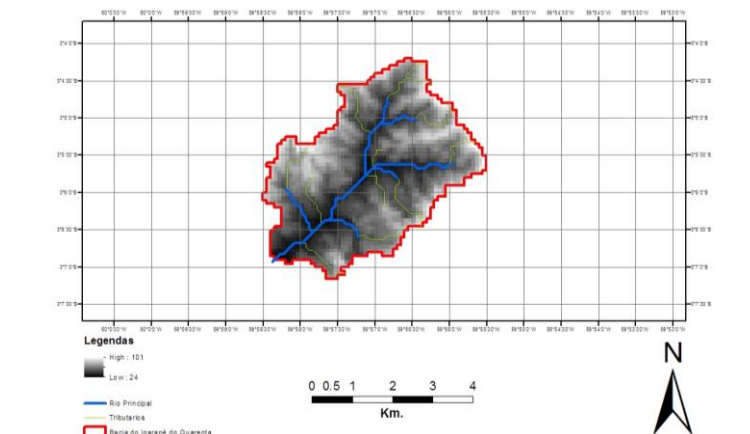


Figura 3: Modelo numérico de terreno – Igarapé do Quarenta – Manaus – AM.

SOLOS

O mapa de solo (Figura 4), para a elaboração deste trabalho foi obtido no site da EMBRAPA, no formato shapefile e posteriormente adaptado (EMBRAPA, 2011). Solos desenvolvidos de materiais argilosos ou Areno-argilosos sedimentares da formação Barreiras na região litorânea do Brasil ou nos baixos platôs da região amazônica relacionados à Formação Alter-do-Chão (EMBRAPA, 2006).

As características físicas dos solos necessários para a simulação do SWAT estão descritas em Baldissera (2005).

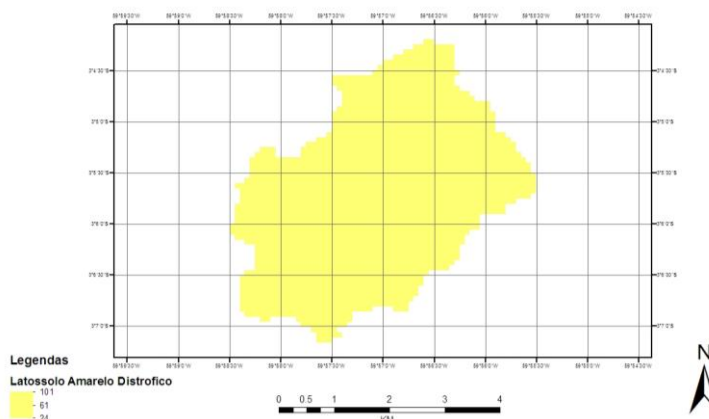


Figura 4: Latossolo Amarelo Distrófico – Igarapé do Quarenta – Manaus – AM.

USO DO SOLO

O uso do solo na bacia do Igarapé do Quarenta no ano de 1984 apresentava 65.06% de vegetação, e 29.722% de área antropizadas. O ano de 2011, 26.64% de vegetação e 71.123% de área antropizadas, nesses períodos podemos observar uma diminuição de 38.42% da vegetação e um aumento de 41.401% para a área antropizadas, (Tabela 3).

Tabela 3: Porcentagem dos tipos de biomas nos anos de 1984 e 2011 no Igarapé do Quarenta.

TIPO DE BIOMA	1984 %	2011 %	VARIAÇÃO %
Água	5.219	2.237	-2.982
Vegetação	65.06	26.64	-38.42
Área antropizadas	29.722	71.123	41.401
Total	100%	100%	0

A Amazônia é um exemplo, e na última década o Brasil perdeu 22 milhões de hectares de floresta, grande parte naquela região. Quanto ao desmatamento, se fizermos um balanço no tempo, constataremos que, do início da colonização até 1978, os desmatamentos atingiram cerca de 15,3 milhões de hectares da floresta. De 1978 a 1988, a área desmatada passou a ser de 37,8 milhões de hectares. Em 1990, a área desmatada era de 41,5 milhões de hectares (CASTRO, 2012).

**USO DO SOLO - IGARAPÉ DO QUARENTA
MANAUS - 1984**

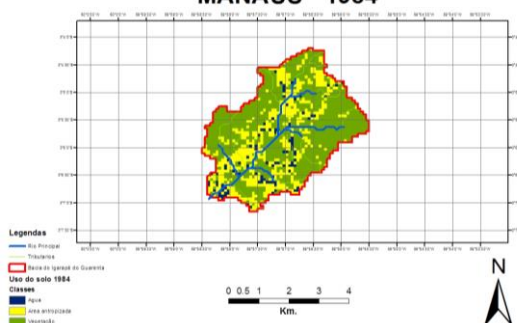


Figura 5: Uso do solo do Igarapé do Quarenta - 1984.

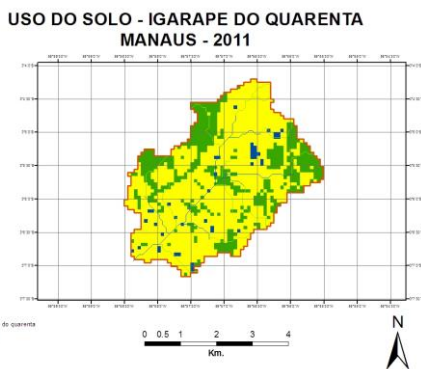
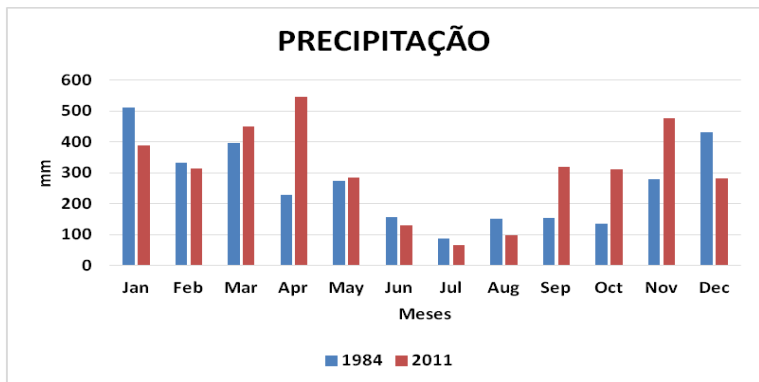


Figura 6: Uso do solo do Igarapé do Quarenta - 2011.

CONCLUSÃO

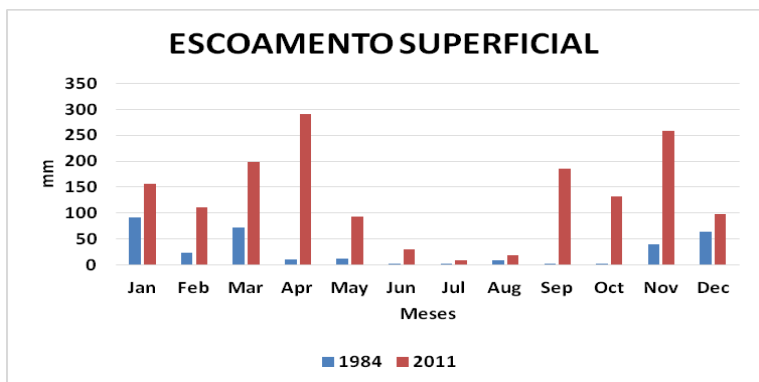
BALANÇO HÍDRICO



A máxima encontrada em janeiro de 1984 foi de 511 mm e 546 mm em abril de 2011. Em 1984 a precipitação anual foi de 3.134 mm. Já para o ano de 2011 a precipitação anual foi de 3.667 mm. Segundo Simões (2009), a região observa-se o ciclo correto de precipitação elevada (estação chuvosa), nos meses de novembro a abril, e menores precipitações

(estação seca) de maio a outubro.

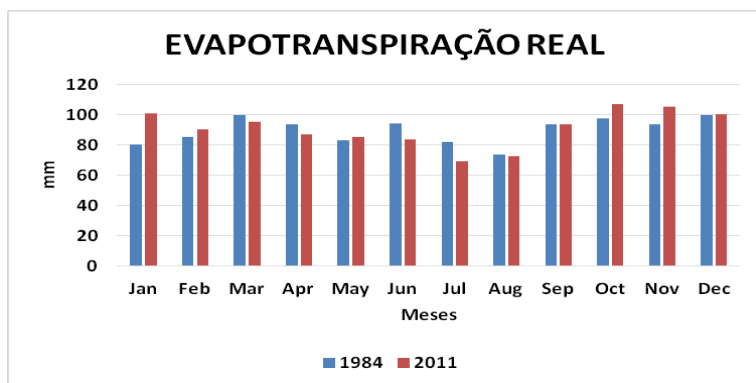
Figura 7: Precipitação nos anos de 1984 e 2011.



A máxima encontrada em janeiro de 1984 foi de 91 mm e 291 mm em abril de 2011. Em 1984 o escoamento superficial anual foi de 327 mm, ± 31.60 mm. Já para o ano de 2011 o escoamento superficial foi de 1.581 mm, ± 91.0723 mm. Com o acréscimo de 483 % de área desmatada, aconteceu um aumento do escoamento superficial, isso

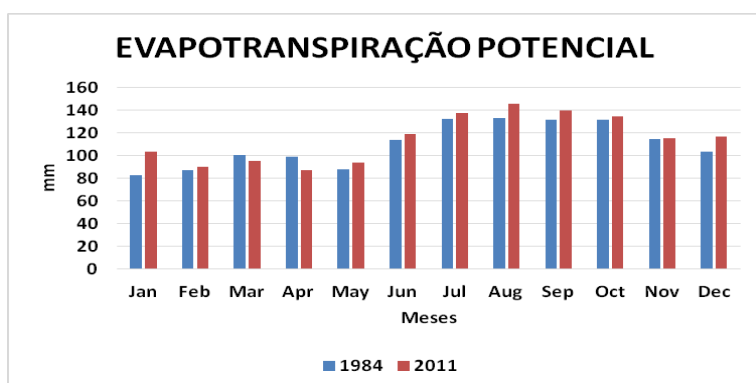
aconteceu devido a pavimentação do solo, bloqueando o fluxo natural da água, onde parte dela foi escoada para os rios, isso afeta também no aumento das enchentes.

Figura 8: Escoamento Superficial nos anos de 1984 e 2011.



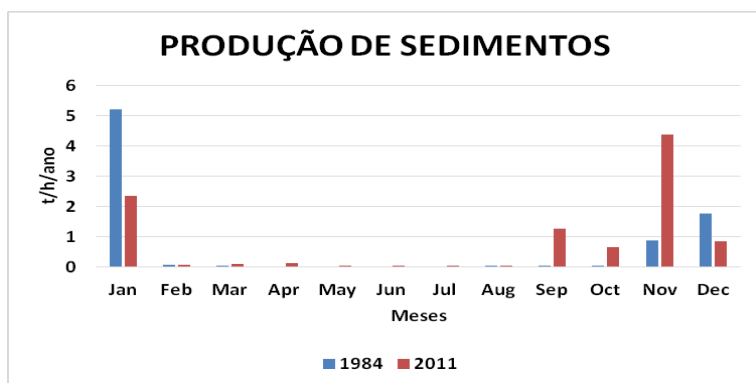
A máxima encontrada em dezembro de 1984 foi de 100.05 mm e 107.13 mm em outubro de 2011. Em 1984 a evapotranspiração real anual foi de 10.77 mm, ± 8.52875 mm. Já para o ano de 2011 a evapotranspiração real foi de 1090.46mm, ± 12.0314 mm.

Figura 9: Evapotranspiração real nos anos de 1984 e 2011.



A máxima encontrada em agosto de 1984 foi de 133.39 mm e 145.45 mm em agosto de 2011. Em 1984 a evapotranspiração potencial anual foi de 13.1838 mm, ± 19.1711 mm.

Figura 10: Evapotranspiração potencial nos anos de 1984 e 2011.



A máxima encontrada em janeiro de 1984 foi de 5.21 mm e 4.37 t em novembro de 2011. Em 1984 a produção de sedimentos anual foi de 7.98 t, ± 1.52 t. Já para o ano de 2011 a produção de sedimentos foi de 9.88 t, ± 1.323276466 t (Figura 17). Para sabermos o que se deve analisar em uma modelagem hidrossedimentológica é necessário

saber os fatores que influenciam esse processo, sendo eles, o desmatamento, a urbanização, a agropecuária entre outros.

Figura 11: Produção de sedimentos nos anos de 1984 e 2011.

4. CONCLUSÃO

O balanço hídrico mostrou resultados insatisfatórios, quando calculado pelo modelo SWAT, como observado nas suas variáveis componentes, já que ele foi afetado diretamente em virtude do desmatamento e a pavimentação do solo pela ação do homem.

O trabalho mostrou a importância da vegetação nativa, e de como o desmatamento afeta diretamente no balanço hídrico, sendo possível mostrar em imagens e em números a quantidade de áreas antropizadas na cidade de Manaus e no Igarapé do Quarenta.

REFERÊNCIAS

AB'SABER, AZIZ NACIB. *Amazônia do discurso à práxis*. São Paulo: Edusp, 2004, p. 11-29.

CARLOS E. M. TUCCI, *Hidrologia: ciência e aplicação*,
Volume 4 de Coleção ABRH de recursos hídricos, Editora da UFRGS, 2007

LUIZ AUGUSTO HORTA NOGUEIRA, RAFAEL SILVA CAPAZ,
Ciências ambientais para engenharia .1. ed. - Rio de Janeiro : Elsevier, 2014.

LUCIANA PIMENTEL DA SILVA, *Hidrologia: Engenharia e meio Ambiente*. - 1. ed. Rio de Janeiro: Elsevier 2015.

PRODES estima 5.831 km² de desmatamento na Amazônia em 2015

Disponível em:

http://www.inpe.br/noticias/noticia.php?Cod_Noticia=4058

Acesso em: 09 nov. 2016

ROBERT W. CHRISTOPHERSON, *Uma Introdução à Geografia Física Geossistemas* - 7.ed. 2012.

SRINIVASAN, R. and ARNOLD, J.G. *Integration of the basin-scale water quality model with GIS*. *Water Resources Bulletin*, v.30, n.03, p. 453-462, 1994.

SALLES, L. A. *Calibração e validação do modelo SWAT para a predição de vazões na bacia do ribeirão Pipiripau*. Dissertação de mestrado, Universidade de Brasília, Brasília, DF, 2012.

TUNDISI, JOSÉ GALIZIA, RECURSOS, *Hídricos no século XXI*. JOSE GALIZA TUNDISI, TAKAKO MATSUMURA - TUNDISI - São Paulo: Oficinas de textos, 2011.