

## XXIV SIMPÓSIO BRASILEIRO DE RECURSOS HÍDRICOS

### **Análise da Relação entre a Mudança no Uso e Cobertura do Solo e os Parâmetros do Modelo SMAP na Bacia Hidrográfica do Orós, Ceará, Brasil**

*Greicy Kelly da Silva<sup>1</sup>; Antônio Duarte Marcos Júnior<sup>1</sup>; Marx Vinicius Maciel da Silva<sup>1</sup>; Mauro Ricardo Roxo Nóbrega<sup>1</sup>; Carlos Eduardo Sousa Lima<sup>2</sup> & Cleiton da Silva Silveira<sup>3</sup>*

#### **RESUMO**

O presente trabalho teve como objetivo analisar como os parâmetros de calibração de um modelo hidrológico chuva-vazão, o SMAP, se relacionam fisicamente com o processo de uso e cobertura na Bacia Hidrográfica do Orós, Ceará, Brasil. Para isso, a análise consistiu em avaliar a evolução da mudança do uso e cobertura na região da bacia, identificando os períodos com as maiores alterações entre as classes de uso e partindo desta informação calibrou-se os parâmetros do SMAP, considerando parâmetros diferentes em períodos distintos. A classe de uso do solo predominante na BH Orós foi ocupada pela classe Floresta Natural, seguida da Agropecuária. Ao passo que a Infraestrutura Urbana mostrou uma diminuição contínua, a classe Corpos d'água mostrou um padrão variante seguindo tendências de crescimento e redução da área percentual ocupada na Bacia. A análise da sensibilidade dos parâmetros apontou uma relação inversa entre a variação dos parâmetros e o volume de escoamento. As maiores alterações neste volume foram observadas para o parâmetro PES, sendo, portanto, mais sensível que o SAT. Os resultados apresentados identificaram uma relação entre o processo de uso e ocupação do solo e os parâmetros SAT e PES obtidos do modelo hidrológico SMAP. Os parâmetros corresponderam bem ao comportamento esperado em função da variação de mudança do uso e ocupação da bacia nos períodos analisados, à exceção do período 2000-2005.

**Palavras-Chave** – Bacia Hidrográfica Orós, modelo hidrológico SMAP, uso e cobertura.

#### **ABSTRACT**

The present work aimed at analyzing how the calibration parameters of a rainfall-runoff hydrological model, the SMAP, relate physically to the land use and land cover process in the Orós Basin Hydrographic, Ceará, Brazil. For this, the analysis consisted in evaluating the evolution of land use and land cover change in the watershed region, identifying the periods with the greatest changes among the land use classes, and, based on this information, calibrating the SMAP parameters, considering different parameters in different periods. The predominant land use class in the Orós basin was occupied by the Natural Florest class, followed by Farming. While Urban Infrastructure showed a continuous decrease, the WaterBody class showed a variant pattern following trends of growth and reduction in the percentage area occupied in the basin. The analysis of the sensitivity of the parameters pointed out an inverse relationship between the variation of the parameters and the runoff volume. The largest changes in this volume were observed for the PES parameter, being, therefore, more sensitive than SAT. The results presented identified a relationship between the land

<sup>1</sup>) Doutoranda(o) em Engenharia Civil (Recursos Hídricos), Universidade Federal do Ceará, e-mail: greicykellysilvagks@gmail.com; duarte.jr105@gmail.com; marx.silva@alu.ufc.br e mauro.nobrega@alu.ufc.br

<sup>2</sup>) Mestrando em Engenharia Civil (Recursos Hídricos), Universidade Federal do Ceará, e-mail:eduardolima@alu.ufc.br

<sup>3</sup>) Professor Adjunto do Departamento de Engenharia Hidráulica e Ambiental, Universidade Federal do Ceará, e-mail: cleitonsilveira@ufc.br

use and occupancy process and the SAT and PES parameters obtained from the SMAP hydrological model. The parameters corresponded well to the expected behavior as a function of the variation of land use and occupation change in the basin in the analyzed periods, except for the period 2000-2005.

**Keywords** – Orós Hydrographic Basin , SMAP hydrological model, use and cover.

## INTRODUÇÃO

As bacias hidrográficas são as principais unidades de gestão dos recursos hídricos, visto que os recursos naturais, juntamente com atividades antrópicas e econômicas, interagem em conjunto, sendo influenciados pelas condições do sistema hídrico local. A crescente demanda das populações humanas por recursos naturais impactam diretamente na estrutura e função das bacias hidrográficas, reduzindo assim sua capacidade de sustentação (Randhir; Tsvetkova, 2011).

Como consequência da intensificação do crescimento populacional e da urbanização recentemente no Ceará, acentua-se a demanda por recursos naturais, principalmente em virtude de mudanças no uso e ocupação do solo da região que pode englobar diversas formas de uso e cobertura, dentre elas, destaca-se o uso antrópico como fator de aceleração do processo de degradação ambiental, caso a atividade antrópica seja executada de forma desordenada (IPECE, 2018). Dessa forma, a modelagem e o monitoramento do uso e cobertura do solo (UCS) são essenciais para avaliar as principais tendências locais associadas aos usos da terra, permitindo também a definição da susceptibilidade da região a impactos ambientais negativos, como desertificação, escassez hídrica, poluição de corpos d'água e empobrecimento do solo (Tomasella *et al.*, 2018; Vieira *et al.*, 2021).

Nesse sentido, a simulação hidrológica pode ser utilizada para diversas aplicações como, por exemplo, a estimativa de disponibilidade hídrica, previsões de vazões de curto e médio prazo e na obtenção da resposta hidrológica em função das mudanças no uso e ocupação do solo em uma bacia hidrográfica (Pereira, 2013). Identificar esta resposta é de extrema importância, uma vez que o crescimento acelerado e desordenado de classes de usos antrópicos acarreta em sérios problemas ambientais, a citar a erosão, o desmatamento, a poluição das águas e do ar (Grostein, 2001). Além disso, a contínua expansão destas áreas acaba por provocar alterações em todo o sistema hídrico da região da bacia, o qual também é condicionado por elementos como o clima, o relevo, o tipo de solo e seu uso e ocupação, entre outras características locais (Serreti; Martins; Alves, 2015). Estas alterações ocasionadas no ciclo hidrológico, por sua vez, causam várias consequências para os ecossistemas e sociedade. Diferentes partes do globo vêm sofrendo a ação de eventos extremos tais como secas, inundações, ilhas de calor, tempestades, furacões, entre outros (Marengo *et al.*, 2009; Serreti; Martins; Alves, 2015).

A retirada da cobertura vegetal nativa, agravada pela expansão das fronteiras agrícolas e pelo sobrepastoreio proveniente da pecuária extensiva, por exemplo, contribuem para impermeabilização dos solos, que de acordo com Marengo *et al.* (2009) é um dos fatores que influencia diretamente no ciclo hidrológico, gerando menos infiltração, aumento do escoamento superficial e a ocorrência dos eventos extremos supracitados. Aliado a isso, o Estado do Ceará está localizado em uma região que possui naturalmente uma grande variabilidade pluviométrica e, ao longo dos anos, vem sofrendo com períodos prolongados de estiagem – situação bastante característica do Nordeste do Brasil (Marengo, 2020).

Nesse contexto, o crescimento dos estudos de processos hidrológicos em bacias hidrográficas é de grande importância para os órgãos do governo e sociedade, pois podem constituir informações que servem de suporte ao gerenciamento de reservatórios, principalmente nestas regiões. Observa-se, no entanto, uma grande lacuna no entendimento mais amplo sobre uma possível relação acerca do impacto do uso e ocupação do solo nos parâmetros de um modelo hidrológico e seus possíveis efeitos sobre o escoamento. Assim, de modo a preencher tal lacuna este trabalho objetiva analisar como os parâmetros de calibração de um modelo hidrológico, o SMAP, se relacionam fisicamente com o

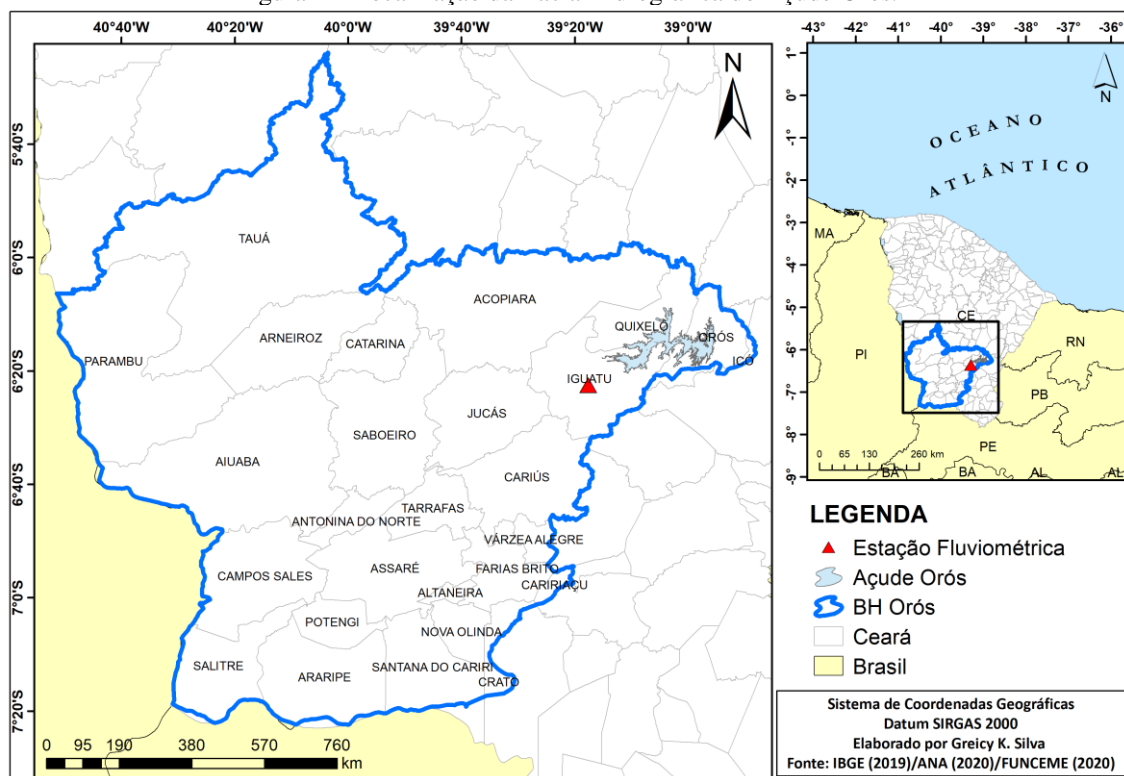
processo de uso e cobertura na Bacia Hidrográfica do Orós e verificar a existência de uma relação entre a contínua mudança do conjunto de parâmetros com o escoamento na bacia.

## MATERIAIS E MÉTODO

### Região de estudo

A área de estudo compreende a Bacia Hidrográfica (BH) do Açude Orós (doravante denominada BH Orós) – a Figura 1 apresenta o mapa de localização da região de estudo. A BH Orós faz parte das sub-bacias do rio Jaguaribe (Ceará, 2016). O açude supracitado constitui também o principal sistema de reservatórios do Estado do Ceará: o sistema Jaguaribe-Metropolitano; responsável pelo abastecimento da Região Metropolitana de Fortaleza (Ceará, 2016). A BH Orós abrange uma área de drenagem de 24 639 km<sup>2</sup>, o que corresponde a 16.56% do território cearense. Está localizada a montante do açude Orós, sendo composta por 24 municípios e apresenta a capacidade de acumulação de águas superficiais de 2 792 563 000 m<sup>3</sup>. Possui como maior reservatório em acumulação o próprio Açude Orós, que comporta até 1 940 000 000 de m<sup>3</sup> (Ceará, 2018). O clima predominante é do tipo Tropical Quente Semiárido, com temperaturas médias anuais em torno dos 28 °C. As precipitações médias anuais encontram-se entre 500 mm e 700 mm (Ceará, 2016).

Figura 1 – Localização da Bacia Hidrográfica do Açude Orós.



### Dados utilizados

Este trabalho utilizou dados mensais observados provenientes do Global Precipitation Climatology Centre (GPCC) correspondentes à climatologia de precipitação de 1891 a 2016, em uma grade regular com resolução espacial de 1.0 grau, obtida a partir do sítio de dados <http://www.esrl.noaa.gov/psd/data/gridded/data.gpcc.html> (New *et al.*, 1999). Além disso, foram utilizadas as séries mensais entre os anos de 1901 a 2019 das variáveis de temperatura média ( $t_{as}$ ), temperatura mínima ( $t_{as_{min}}$ ) e temperatura máxima ( $t_{as_{max}}$ ) próximas a superfície, obtidas do *Climatic Research Unit - CRU* da *University of East Anglia*, localizada em Norwich no Reino Unido, para o cálculo da série observada de ETP. Os dados de vazão foram obtidos a partir do sítio de dados da

ANA e são provenientes do posto fluviométrico com localização mostrada na Figura 1. O código da estação utilizada para a BH Orós é 36160000.

### Evapotranspiração Potencial

A Evapotranspiração Potencial (ETP) foi estimada através do Método de Hargreaves-Samani (Hargreaves e Samani, 1985; Hargreaves, 1994). A ETP é computada através da equação 1:

$$ETP = 0.0023(tas_{max} - tas_{min})^{0.5} (tas + 17.8)R_a \quad (1)$$

em que a ETP é dada em mm/mês,  $tas$ ,  $tas_{min}$  e  $tas_{max}$  em ° C e a Radiação Externa Média ( $R_a$ ) foi estimada a partir da latitude e do mês do ano. Mais informações são encontradas no trabalho de Hargreaves (1994).

### Uso e cobertura do projeto MAPBIOMAS

No presente estudo foram utilizados os dados de classificação do uso e cobertura do solo obtidos da coleção 5.0 do projeto MapBiomass, disponibilizados no formato Raster (matricial) com resolução espacial de 30 m (MAPBIOMAS, 2020). O Projeto MapBiomass é uma iniciativa multi-institucional para gerar mapas anuais de uso e cobertura da terra a partir de processos de classificação automática aplicada a imagens de satélite. A descrição completa do projeto encontra-se em <http://mapbiomas.org>.

Para a avaliação da dinâmica do uso e cobertura na BH Orós, foi utilizado a série histórica de mapas obtidos do Mapbiomas. A análise consistiu no estudo da evolução da área percentual (área da classe dividido pela área total) de cada classe considerada entre os anos de 1985 a 2019. Para tanto, os dados foram espacializados em intervalos de 5 anos, possibilitando analisar a dinâmica espacial dos usos identificados na bacia ao longo da série histórica considerada.

### Modelo SMAP (Soil Moisture Accounting Procedure)

O SMAP é um modelo hidrológico determinístico, conceitual e concentrado do tipo transformação chuva-vazão, proposto por Lopes *et al.* (1981). Originalmente de estrutura diária, sofreu modificações oferecendo posteriormente as versões horária e mensal. Tomando os parâmetros capacidade de saturação do solo (SAT) em mm, parâmetro de escoamento superficial (PES) adimensional, coeficiente de recarga (CREC) também adimensional e a constante de recessão (K) em mês<sup>-1</sup>, o SMAP mensal considera dois reservatórios hipotéticos – solo e subterrâneo, atualizando suas variáveis de estado a cada instante de tempo. No ato da iniciação da simulação, o modelo obedece ao pressuposto de que há água armazenada nos referidos reservatórios. Para isso, os parâmetros supracitados recebem uma atribuição de valores. Dessa forma, a cada atualização de instante de tempo, incorpora-se um dado médio novo de precipitação, por meio das chamadas equações de transferências. Mais informações sobre equacionamento e esquematização de funcionamento do modelo SMAP mensal ver o estudo de Lopes (1999).

Para calibrar o modelo SMAP mensal, os parâmetros SAT, PES, K e CREC sofreram uma otimização através da função Solver do software Microsoft Office Excel. As variáveis precipitação (mm/mês), vazão (m<sup>3</sup>/s), evapotranspiração potencial (mm/mês) e área da bacia (km<sup>2</sup>) foram inseridas como dados de entrada. A função objetivo utilizada para calibração foi o índice de eficiência de Nash-Sutcliffe (NSE) – equação 2 – que tem se mostrado um importante critério estatístico e muito usado para avaliar o ajuste de modelos hidrológicos (Andrade *et al.*, 2017).

$$NSE = 1 - \frac{\sum_{i=1}^N (o_i - m_i)^2}{\sum_{i=1}^N (o_i - \bar{o})^2} \quad (2)$$

onde N é o Número de amostras,  $o_i$  são os Dados observados,  $m_i$  são os Dados modelados e  $\bar{o}$  é a Média dos dados observados. O NSE varia entre negativo infinito a 1, sendo este valor a indicação de um perfeito ajuste (Asce, 1993). O desempenho do modelo pode ser classificado conforme os critérios abordados por Silva *et al.* (2008): para NSE maior que 0.75 tem-se desempenho bom; NSE entre 0.36 e 0.75, confere um desempenho aceitável e para NSE inferior a 0.36 seu desempenho é considerado inaceitável. Verificou-se ainda o coeficiente de correlação de Pearson (R). Em sua expressão, este coeficiente fornece o grau de correlação (associação) linear entre duas variáveis

quantitativas (Moore, 2007). Seguindo a formulação adotada por Jolliffe e Stephenson (2003), a Equação 3 define R como:

$$R = \frac{1}{N} \sum_{i=1}^N \left( \frac{\phi'_i \psi'_i}{\sigma_\phi \sigma_\psi} \right) \quad (3)$$

em que  $\phi'_i$  é o Desvio da série estimada,  $\psi'_i$  é o Desvio da série observada e  $\sigma_\phi$  e  $\sigma_\psi$  são os Desvios padrões das médias das séries estimada e observada, respectivamente. Os valores de R para -1 e 1 remetem a uma correlação perfeita, enquanto que o valor de zero para r, remete a nenhuma relação linear entre as variáveis estudadas (Moore, 2007). Também foram atribuídos valores para as variáveis que descrevem as condições iniciais das bacias:  $Tu_{in}$  (30) e  $Eb_{in}$  (0), reajustadas manualmente a cada rodada de simulação até alcançar o melhor valor de performance do NSE.

Para a calibração e validação dos dados observados, foram considerados períodos concomitantes de dados de vazão, ETP e precipitação. Após identificado períodos em que houveram grandes mudanças na bacia realizou-se a calibração do modelo hidrológico com parâmetros diferentes em períodos distintos. Para calibração foram selecionados os períodos de 1989-1992, 1994-1997, 1999-2002 e 2009-2012 e para a validação os períodos de 1993-1994, 1998-1999 e 2005-2006.

As Tabelas 2 e 3 mostram, respectivamente, para cada período os parâmetros calibrados do modelo SMAP mensal e os valores do coeficiente de eficiência de Nash-Sutcliffe e R obtidos para as séries calibradas e validadas.

Tabela 2 – Parâmetros calibrados do modelo SMAP mensal.

Período	SAT	PES	CREC	K
1989-1992	3072.13	4.62	0.50	1
1994-1997	2863.45	3.89	0	5
1999-2002	5000	4.59	0	5
2009-2012	973.27	4.90	0	1

Tabela 3 – Valores do coeficiente de eficiência de Nash-Sutcliffe e coeficiente de correlação de Pearson para as séries calibradas e validadas.

Período	NSE		R	
	Calibração	Validação	Calibração	Validação
1989-1992	0.87	0.96	0.77	0.79
1994-1997	0.74	0.95	0.86	0.76
1999-2002	0.68	0.63	0.36	0.71
2009-2012	0.91	0.86	0.95	0.84

### Análise de sensibilidade

Na investigação da sensibilidade dos parâmetros do SMAP às mudanças no uso e cobertura do solo na Bacia Orós, após identificado períodos em que houveram grandes mudanças na bacia, realizou-se a calibração do modelo hidrológico com parâmetros diferentes em períodos distintos. Na análise da sensibilidade, o método utilizado foi o proposto por Abdulla e Al-Branih (2000). Feita a calibração para cada período e obtido os valores ótimos para cada parâmetro (Tabela 2), fez-se uma alteração no valor de apenas um parâmetro mantendo os demais fixos, com porcentagens de alteração de  $\pm 10\%$ ,  $\pm 20\%$ ,  $\pm 30\%$  e  $\pm 50\%$ . Na análise da alteração do volume de escoamento, os percentuais obtidos de variação para os parâmetros K e CREC foram insignificantes, portanto este trabalho seguiu com as análises somente para os parâmetros SAT e PES. Estes resultados concordam com os de Alexandre *et al.* (2005) que já havia concluído que somente os parâmetros SAT e PES possuem sensibilidade para as bacias localizadas no estado do Ceará.

## RESULTADOS E DISCUSSÃO

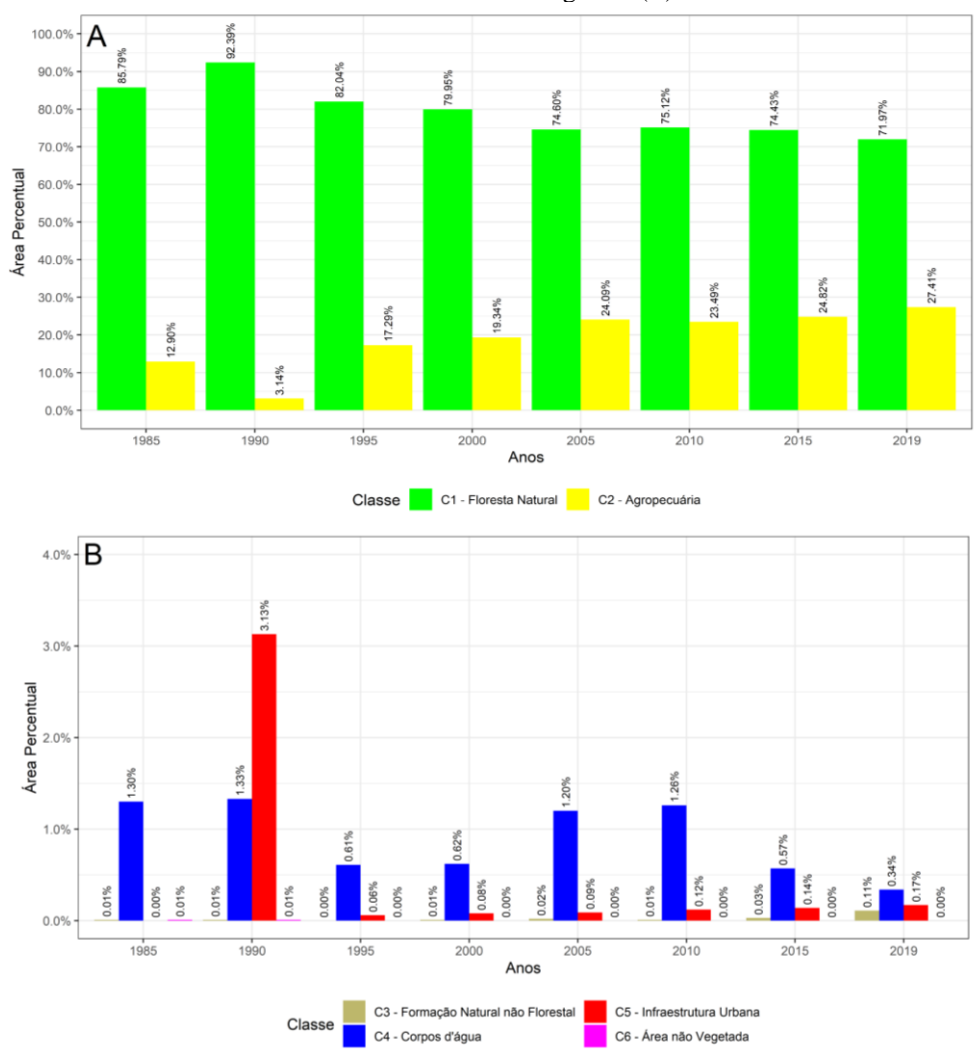
### Evolução do uso e ocupação do solo

A Figura 2 apresenta a evolução da área percentual de cada classe de uso e ocupação do solo da BH Orós entre 1985 e 2019 em intervalos de cinco anos.

As áreas de florestas naturais ocupadas tipicamente por Formações Florestais e Savânicas representaram a classe de uso do solo predominante na bacia do Orós, mantendo-se acima de 80% entre os anos de 1985 e 1995, sofrendo uma retração desde então e alcançando 71.9% em 2019. A segunda classe de uso e cobertura do solo com larga abrangência em toda a bacia foi a Agropecuária, que no início da avaliação do uso do solo – 1985, já mostrou uma área percentual bastante significativa quando comparado ao ano seguinte. Em termos de área, desde os anos 2000 esta classe vem se expandindo – com um tênue decréscimo em 2010, mas alcançando seu máximo de 27.4% em 2019.

Em 1990, as classes Infraestrutura Urbana e Corpos d'água obtiveram parcelas mais significativas da área total comparado aos demais anos e classes, com equivalentes de 3.13% e 1.33%, respectivamente. No entanto, verificou-se uma diminuição contínua da Infraestrutura Urbana passando a 0.17% em 2019. De outra forma, a classe Corpos d'água mostrou um padrão variante seguindo tendências de crescimento e redução da área percentual ocupada na Bacia. Sua parcela com menor representação se deu em 2019.

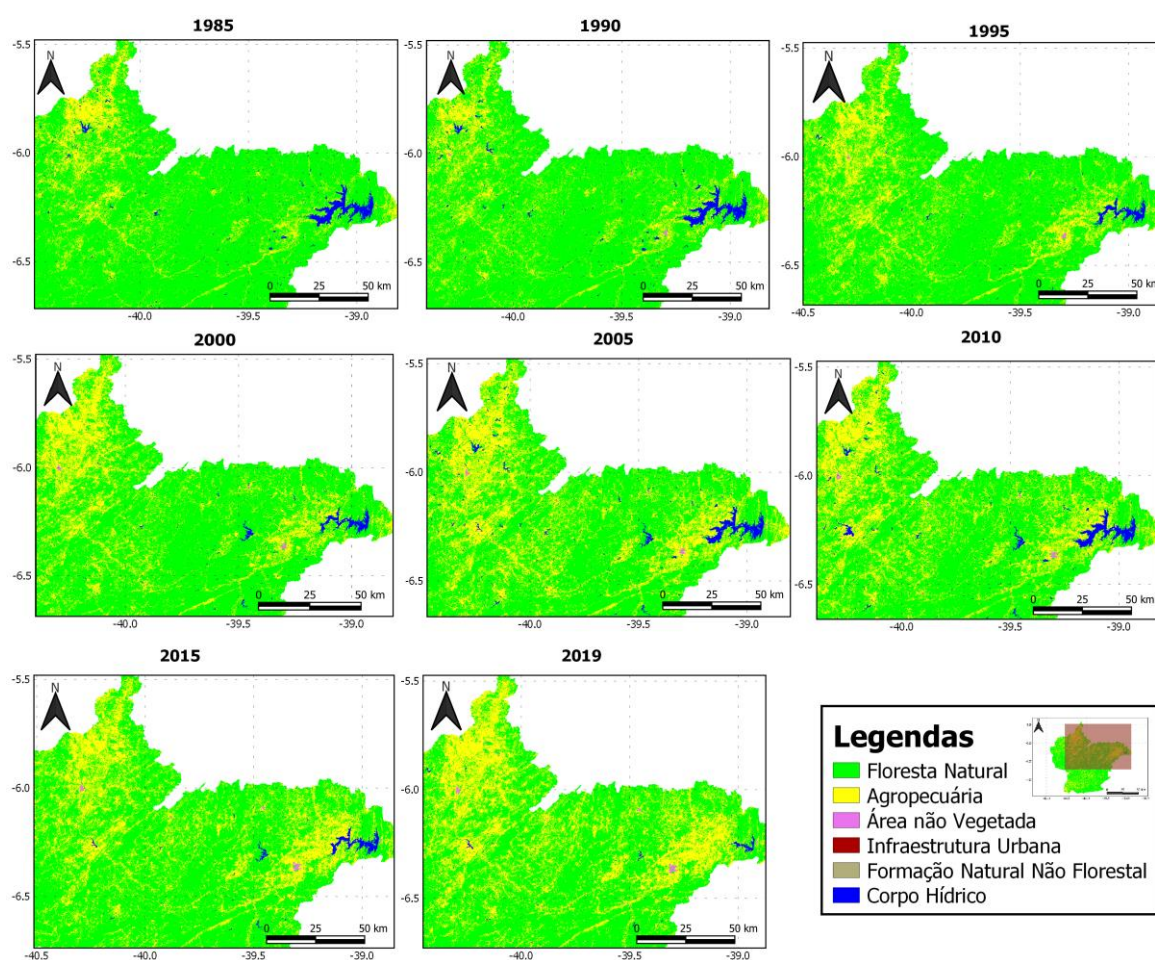
Figura 2 – Área ocupada em termos percentuais da área total da Bacia Hidrográfica do Orós de 1985 a 2019, por classe de uso do solo: Floresta Natural e Agropecuária (A) e Formação Natural Não Florestal, Corpos d'água, Infraestrutura Urbana e Área Não Vegetada (B).



As classes Formação Natural não Florestal e Área não Vegetada apresentaram pequenas participações e variações na ocupação do solo da bacia do Orós, com valores inferiores a 0.02% de área ocupada. Por este motivo, não foram consideradas para discussão nestas análises. A Figura 3 apresenta o uso e ocupação do solo da Bacia Hidrográfica do Orós para os anos de 1985 a 2019 de forma espacializada, considerando os seis agrupamentos de classes.

Identificou-se o avanço da classe Agropecuária na bacia entre os anos de 1985 a 2019. Esse avanço, em sua maior parte, foi distribuído ao longo dos municípios de Quixelô, Iguatu, Tauá, Arneiroz e em Orós, tendo aumentado significativamente a densidade de pixels desse tipo de uso nessas regiões com o passar do tempo, sobretudo em 2019. Considerando-se o crescimento do plantio de novas culturas temporárias, tais como arroz, milho e feijão cujos cultivos foram intensificados a partir da década de 90, bem como o crescimento contínuo no efetivo dos rebanhos, principalmente bovino, suíno e caprino, conforme verificado em Ceará (2021).

Figura 3 – Evolução espacial do uso e ocupação do solo em parte da BH Orós de 1985 a 2019.

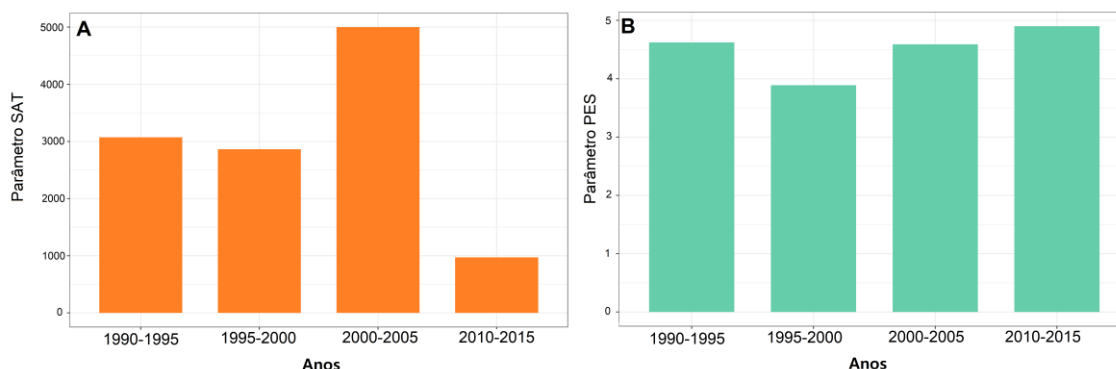


Em contrapartida, as áreas correspondentes aos corpos d'água, em especial o Açude Orós, sofreram diversas alterações no total ocupado na bacia ao longo do tempo, o que pode estar associado a sua hidrografia superficial intermitente, influenciada pela pluviometria, em conjunto com o aumento da retirada de água do Açude visando atender ao aumento das principais demandas: abastecimento urbano (13.4%); agrícola (66.9%) e dessedentação animal (12.4%) (ANA, 2016).

## Análise de sensibilidade dos parâmetros

A Figura 4 apresenta os parâmetros obtidos para os períodos em que se identificaram as maiores mudanças no uso e ocupação do solo na BH Orós.

Figura 4 – Parâmetros SAT (A) e PES (B) obtidos no processo de calibração para os períodos 1990-1995, 1995-2000, 2000-2005 e 2010-2015.



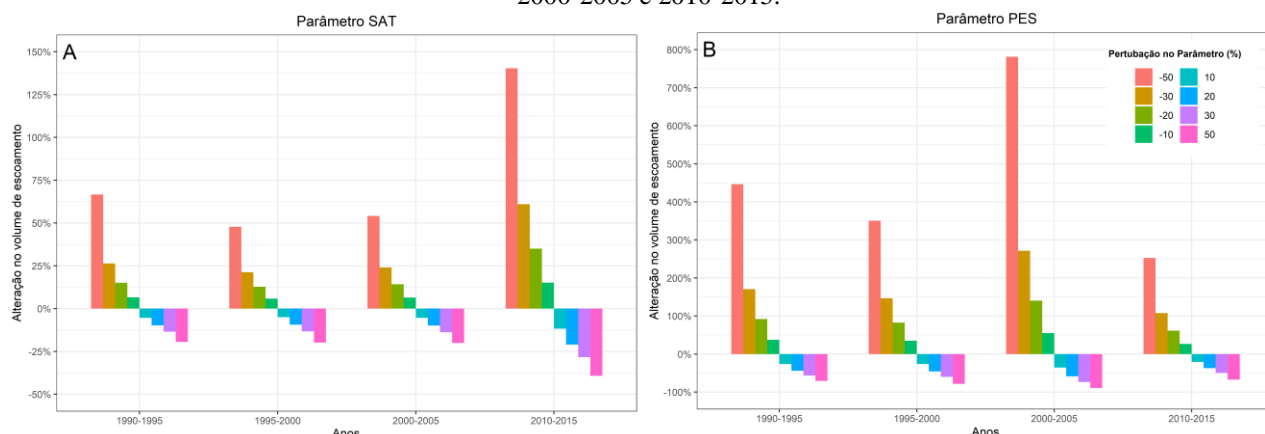
Identificou-se um comportamento inesperado para o parâmetro SAT ocorrido entre os anos de 2000 a 2005 (Figura 4A). Uma vez que a expansão da agropecuária e diminuição da floresta natural (ver Figura 2A) são fatores que contribuem para a redução da infiltrabilidade do solo, era esperado que o SAT diminuísse ao longo do tempo. O pico apontado indicou um maior armazenamento de água no solo o que pode estar associado a um aumento expressivo da precipitação nesse intervalo de tempo. O parâmetro SAT obtido no período da década seguinte mostrou uma bruta diminuição em torno de 80%. O que volta a concordar, sem surpresas, com o padrão de decréscimo esperado para este parâmetro.

Na Figura 4B, o parâmetro PES seguiu uma tendência de crescimento a partir do intervalo 1995-2000 representando a resposta do modelo SMAP ao aumento do escoamento superficial. O menor valor pro parâmetro e respectivo período coincide com a maior variação percentual de mudança entre os anos 1995 e 2000, obtidas para as classes Floresta Natural, Agropecuária, Infraestrutura Urbana e Corpos d'água, mas não atende, da maneira esperada, a redução da vegetação nativa no período apontado, o que deveria ter propiciado a diminuição da infiltração e, conseqüentemente, um maior valor para o PES comparado ao de outros períodos.

Na Figura 5 pode-se verificar a influência de cada parâmetro quanto a variação no volume de escoamento total. É possível afirmar que se os parâmetros variam para menos (mais) há aumento (diminuição) no volume de escoamento. As maiores alterações no volume de escoamento foram observadas para o parâmetro PES (Figura 5B), sendo, portanto, o que mais influencia os resultados. O parâmetro menos sensível para este caso é o SAT. As maiores alterações no volume de escoamento foram observadas para o período de 2010 a 2015 para o parâmetro SAT e de 2000 a 2005 para o parâmetro PES, em todas as margens de perturbação do parâmetro. Estes resultados concordam com o resultado apontado na Figura 4A, uma vez que o menor valor obtido para o parâmetro SAT no intervalo de 2010 a 2015, explica um menor armazenamento de água no solo e, conseqüentemente, maiores alterações no volume total escoado. De outra forma, a expressiva diminuição da floresta natural e expansão da área de agropecuária entre os anos 2000 e 2005, na qual se tem, de maneira geral, redução da infiltrabilidade do solo em função da perda de matéria orgânica e também de sua compactação, indica tendência de aumento no volume escoado.



Figura 5 – Parâmetros SAT (A) e PES (B) obtidos no processo de calibração para os períodos 1990-1995, 1995-2000, 2000-2005 e 2010-2015.



## CONCLUSÕES

As análises propostas no presente estudo visaram identificar como os parâmetros de calibração de um modelo hidrológico, o SMAP, se relacionam fisicamente com o processo de uso e cobertura na Bacia Hidrográfica do Orós e se há uma relação entre a contínua mudança do conjunto destes parâmetros com o escoamento na bacia.

A classe de uso do solo predominante na BH Orós foi ocupada pela classe Floresta Natural. Essa classe sofreu contínua redução na sua área percentual a partir de 1990, obtendo em 2019 uma redução total em torno de 22%. A segunda classe com grande predominância se deu para a Agropecuária, que teve um crescimento contínuo também a partir de 1990. As parcelas mais significativas da área total comparado aos demais anos e classes para os usos de Infraestrutura Urbana e Corpos d'água também se deu em 1990. Ao passo que a Infraestrutura Urbana mostrou uma diminuição contínua, a classe Corpos d'água mostrou um padrão variante seguindo tendências de crescimento e redução da área percentual ocupada na Bacia. Vale ressaltar a parcela de menor representação dessa classe identificada em 2019. As classes Formação Natural não Florestal e Área Não Vegetada apresentaram participações e variações insignificantes no uso e ocupação do solo da BH Orós.

Especialmente, a classe Agropecuária avançou principalmente sobre os municípios de Quixelô, Iguatu, Tauá, Arneiroz e em Orós, com aumento da densidade de pixels dessa classe ao longo do tempo, mas de forma substancial em 2019. Esse avanço se deve a inserção da prática de plantio de novas culturas temporárias e o crescimento contínuo no número de efetivo dos rebanhos. De outra forma, a classe Corpos d'água sofreu diversas alterações no total ocupado na bacia ao longo do tempo.

Em relação a influência do uso e ocupação do solo nos parâmetros SAT e PES, o primeiro apresentou um comportamento inesperado de aumento no período 2000-2005 o que não concorda com a expansão da agropecuária e diminuição da floresta natural, podendo então estar associado a um aumento expressivo da precipitação neste intervalo de tempo. De outra forma, no intervalo seguinte o SAT voltou a concordar com o padrão esperado de diminuição. O parâmetro PES correspondeu bem à resposta do modelo SMAP ao aumento do escoamento superficial, como resultado dos padrões de variação observados no uso e ocupação do solo da bacia.

Quanto a análise da sensibilidade dos parâmetros, se observou uma relação de variação entre os parâmetros – para menos (mais) – e o volume de escoamento – aumento (diminuição). As maiores alterações no volume de escoamento foram observadas para o parâmetro PES, sendo, portanto, o que mais influenciou os resultados.

Em suma, os resultados apresentados identificaram uma relação entre o processo de uso e ocupação do solo e os parâmetros SAT e PES obtidos do modelo hidrológico de chuva-vazão SMAP. Os parâmetros corresponderam bem ao comportamento esperado em função da variação de mudança do uso e ocupação da bacia nos períodos analisados, à exceção do período 2000-2005. Desta forma,

recomenda-se para estudos futuros uma discussão mais robusta, analisando também as respostas das séries temporais de precipitação e vazão.

## AGRADECIMENTOS

O presente trabalho foi realizado com apoio da Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior – Brasil (CAPES) – Código de Financiamento 001.

## REFERÊNCIAS

ABDULLA, F.; AL-BADRANI, L. (2000). *Application of rainfall-runoff model to three catchments in Iraq*. *Journal des Sciences Hydrologiques*. 45(1).

ALEXANDRE, A.M.B., MARTINS, E.S., CLARKE, R.T., REIS, D.S JR (2005). *Regionalização de Parâmetros de Modelos Hidrológicos*. In: Anais do XVI Simpósio Brasileiro de Recursos Hídricos, ABRH, João Pessoa - PB, 2005.

ANA (2016). *Reservatórios do Semiárido Brasileiro: hidrologia, balanço hídrico e operação. Relatório Final*. Agência Nacional de Águas - Brasília: ANA, Engecorps Engenharia S.A. 88 p.

ANDRADE, C. W. L., MONTENEGRO, S. M. G. L., LIMA, J. R. S., MONTENEGRO, A. A. A. E SRINIVASAN, R. (2017). *Análise de sensibilidade de parâmetros do modelo SWAT em uma Sub-Bacia da região Nordeste, Brasil*. *Revista Brasileira de Geografia Física*, 10(2), 440-453.

ASCE (1993). *Task Committee on Definition of Criteria for Evaluation of Watershed Models of the Watershed Management*. Committee Irrigation and Drainage Division. Criteria for evaluation of watershed models. *J. Irrig. Drainage Eng.*, 119, 429-442.

CEARÁ (2016). *Manual de Operação da Sala de Situação do Ceará*. Fortaleza: COGERH. 112 p.

CEARÁ (2018). *Sub-Bacia Hidrográfica do Alto Jaguaribe Características Gerais*. In: *Secretaria de Recursos Hídricos, Ceará*. Acesso em: 08 de maio de 2021, disponível em: <https://www.srh.ce.gov.br/wp-content/uploads/sites/90/2018/07/Caracteriza%C3%A7%C3%A3o-da-Bacia-Hidrogr%C3%A1fica-Alto-Jaguaribe.pdf>.

CEARÁ (2021). *Perfil Municipal*. In: *Instituto de Pesquisa e Estratégia Econômica do Ceará, IPECE/CEARÁ*. Acesso em: 08 de maio de 2021, Disponível em: <http://ipece.ce.gov.br/ipece-data-web/module/perfil-municipal.xhtml>

GROSTEIN, M. D. (2001). *Metrópole e expansão urbana: a persistência de processos "insustentáveis"*. *São Paulo em Perspectiva*, São Paulo, 15(1), 13-19. Disponível em: <http://www.scielo.br/pdf/spp/v15n1/8585.pdf>. Acesso em: 09 maio 2021.

HARGREAVES, G. H.; SAMANI, Z. A. (1985). *Reference Crop Evapotranspiration from Temperature*. *Applied Engineering in Agriculture*, [S.l.], 1(2), 96-99. <http://dx.doi.org/10.13031/2013.26773>.

HARGREAVES, G. H. (1994). *Defining and Using Reference Evapotranspiration*. *Journal of Irrigation and Drainage Engineering*, [S.l.], 120(6), 1132-1139. [http://dx.doi.org/10.1061/\(asce\)0733-9437\(1994\)120:6\(1132\)](http://dx.doi.org/10.1061/(asce)0733-9437(1994)120:6(1132)).

JOLLIFFE, I. E STEPHENSON, D. (2003). *Forecast Verification: A Practitioner's Guide in Atmospheric Science*. [S.l.]: John Wiley and Sons. 247 p.

LOPES, J. E. G., BRAGA JUNIOR, B. P. F. E CONEJO, J. G. L. (1981) *Simulação hidrológica: aplicações de um modelo simplificado*, In Anais III Simpósio Brasileiro de Recursos Hídricos, Fortaleza, Ceará, 1981.

LOPES, J. E. G. (1999). *Manual do Usuário do SMAP* – v.99. 18 p.

MAPBIOMAS (2020). Projeto MapBiomass – Coleção 5.0 da Série Anual de Mapas de Cobertura e Uso de Solo do Brasil. Disponível em: <https://plataforma.brasil.mapbiomas.org/> (acessado em: 24/05/2021).

MARENGO, J. A.; SCHAEFFER, R.; PINTO, H. S.; ZEE, D. M. W. *Mudanças climáticas e eventos extremos no Brasil*. Rio de Janeiro: FBDS, 2009. 76 p.

MARENGO, J.A.; CUNHA, A.P.M.A.; NOBRE, C.A.; RIBEIRO NETO, G.G.; MAGALHAES, A.R.; TORRES, R.R.; SAMPAIO, G.; ALEXANDRE, F.; ALVES, L.M.; CUARTAS, L.A.; DEUSDARÁ, K.R.L.; ÁLVALA, R.C.S. (2020). *Assessing drought in the drylands of northeast Brazil under regional warming exceeding 4 °C*. *Nat. Hazards*, 103, 2589–2611.

MOORE, D. S. (2007). *The Basic Practice of Statistics*. 4th ed. New York: Freeman. 728 p.

NEW, M.; HULME, M.; JONES, P.D. (1999). *Representing Twentieth-Century space-time climate variability. Part 1: Development of a 1961-1990 mean monthly terrestrial climatology*. *Journal of Climate*, [S.l.], 12, 829-856. [https://doi.org/10.1175/1520-0442\(1999\)012%3C0829:RTCSTC%3E2.0.CO;2](https://doi.org/10.1175/1520-0442(1999)012%3C0829:RTCSTC%3E2.0.CO;2)

PEREIRA, D. R. (2013). *Simulação hidrológica na bacia hidrográfica do rio Pomba usando o modelo SWAT*. 2013. 142 f. Tese (Doutorado em Construções rurais e ambiência) - Universidade Federal de Viçosa, Viçosa, 2013.

SERRETI, M. T.; MARTINS, R.C; ALVES, F. (2015). *Influência da Impermeabilização no Ciclo Hidrológico da Cidade de Belo Horizonte/MG*. *Revista Petra*, 1(2), 311-327.

SILVA, P. M. O., MELLO, C. R., SILVA, A. M.; COELHO, G. (2008). *Modelagem da hidrografia de cheia em uma bacia hidrográfica da região Alto Rio Grande*. *R. Bras. Eng. Agric. Amb.*, 12, 258-265.

TOMASELLA, J., SILVA PINTO VIEIRA, R. M., BARBOSA, A. A., RODRIGUEZ, D. A., DE OLIVEIRA SANTANA, M., SESTINI, M. F. (2018). *Desertification trends in the Northeast of Brazil over the period 2000–2016*. *International Journal of Applied Earth Observation and Geoinformation*, 73 (11/2017),197–206. <https://doi.org/10.1016/j.jag.2018.06.012>.

VIEIRA, R. M. D. S. P., TOMASELLA, J., BARBOSA, A. A., MARTINS, M. A., RODRIGUEZ, D. A., REZENDE, F. S. D., CARRIELLO, F., SANTANA, M. D. O. (2021). *Desertification risk assessment in Northeast Brazil: Current trends and future scenarios*. *Land Degradation and Development*, 32(1), 224–240. DOI: 10.1002/ldr.3681.