

## INVESTIGAÇÃO DO PROCESSO DE GERAÇÃO DE ESCOAMENTO USANDO ANÁLISE ESTATÍSTICA MULTIVARIADA EM UMA BACIA SEMIÁRIDA

EFRAIM MARTINS ARAÚJO<sup>1</sup> E GEORGE LEITE MAMEDE<sup>2</sup>

<sup>1</sup>Professor, Laboratório de Geoprocessamento, Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia do Ceará, Campus Iguatu, C.P. 63.503-790 – Iguatu, CE – Brasil. efrainifce@gmail.com

<sup>2</sup>Professor Associado, Universidade da Integração Internacional da Lusofonia Afro-Brasileira, C.P. 62.790-000 – Redenção, CE – Brasil. mamede@unilab.edu.br

### 1 RESUMO

Este trabalho teve como objetivo estudar o comportamento hidrológico na bacia do Orós, localizada no semiárido brasileiro, com uma área de 24 636 km<sup>2</sup>. Para avaliar a variação das respostas hidrológicas das 17 sub-bacias que constituem a bacia do Orós, em função de suas características físicas, utilizou-se a análise estatística multivariada. A análise de fatores, por sua vez, possibilitou a identificação dos pesos das classes de solo, declividade, vegetação e geologia na geração do escoamento. Os resultados mostraram que o solo do tipo Vertissolo, com área inferior a 1,3% da bacia, responde por 23,95% do escoamento gerado. Para declividade, constatou-se que os maiores pesos foram encontrados nas regiões mais íngremes, com 52,21% do total para declividades superiores a 20%. Os resultados para as componentes de solo e de declividade corroboraram com o estudo hidrológico, em que áreas com declives mais acentuados e solos menos permeáveis geram mais escoamentos, comprovando a eficácia desta ferramenta. Considerando-se as respostas da análise estatística, que indicam as componentes de solo e declividade como principais responsáveis pelo escoamento, as Unidades de Solo e Declividade, resultante da superposição de mapas através do uso de ferramentas de Sistema de Informações Geográficas (SIG), foram conjuntamente analisadas com a estatística multivariada.

**Palavras-chave:** unidades de solo e declividade, coeficiente de escoamento, sig.

ARAÚJO, E. M.; MAMEDE, G. L.

### INVESTIGATION OF FLOW GENERATION PROCESS USING MULTIVARIATE STATISTICAL ANALYSIS IN A SEMIARID BASIN

### 2 ABSTRACT

This work aims to study the hydrological behavior of Orós basin, located in the Brazilian semiarid region, with an area of 24,636 km<sup>2</sup>. To assess the variation of hydrological responses of the 17 sub-basins in Orós basin, as a function of their physical properties, the multivariate statistical analysis is used. The analysis of factors enabled the identification of weights of soil classes, slope, vegetation and geology for the runoff generation. The results show that Vertisol type soil, with area inferior to 1.3% of the basin, accounts for 23.95% of the generated flow. For slope, it was observed that higher weights are found in steeper areas, with 52.21% for

steepness higher than 20%. The results for components of soil and slope corroborate the hydrological study, where areas with higher slopes and lower permeability generate more runoff, proving the effectiveness of this tool. On the other hand, the analysis of vegetation components does not present satisfactory results, since there is not a good discretization of vegetation cover in Orós basin. Taking into account statistical analysis responses, which indicate soil and slope components as major factors explaining the runoff generation, the Soil and Slope Unit are defined, resulting from maps overlap using Geographical Information System (GIS) tools, were jointly analyzed using multivariate statistics.

**Keywords:** units of soil and slope, runoff coefficient, gis.

### 3 INTRODUÇÃO

O Brasil é o país mais com grande abundância em água doce, com 12% das reservas mundiais. Do potencial de água de superfície do planeta concentram-se 18%, escoando pelos rios aproximadamente  $257.790 \text{ m}^3 \cdot \text{s}^{-1}$  (CARVALHO E SILVA, 2006). Apesar de apresentar uma situação favorável, no Brasil há uma grande desigualdade regional na distribuição dos recursos hídricos (BACELLAR, 2012).

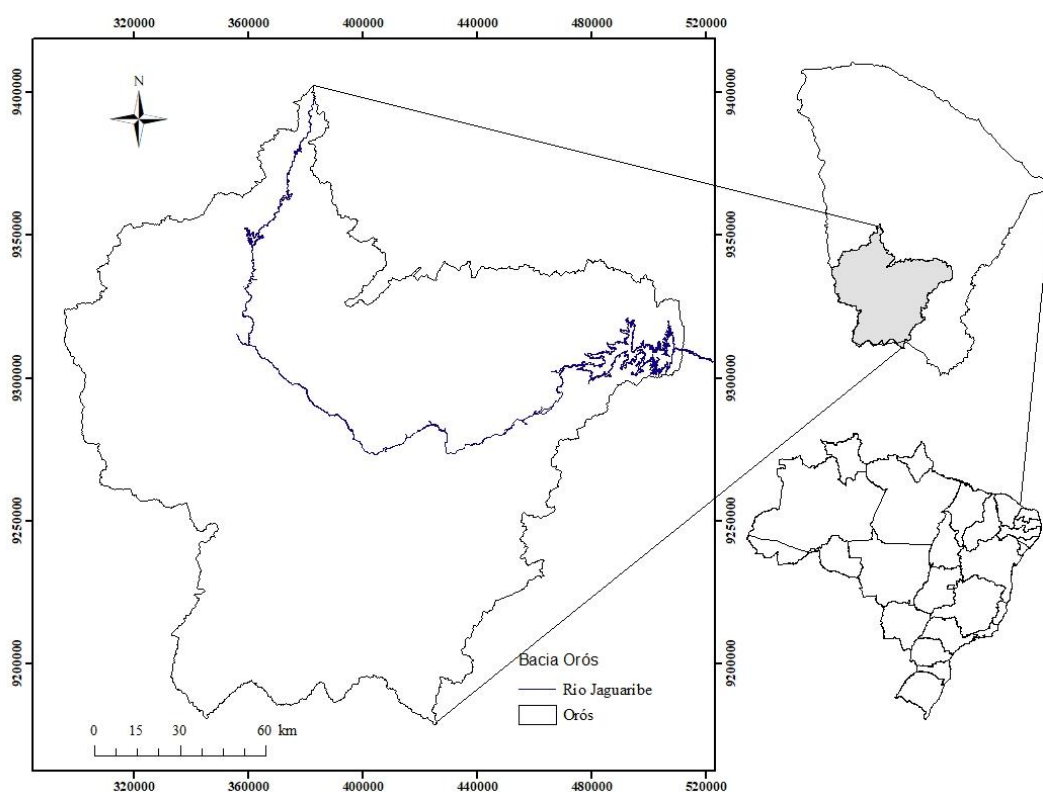
A região Nordeste do país apresenta elevado risco de escassez hídrica em virtude da má distribuição do regime pluviométrico e elevada evaporação, com período chuvoso concentrado em poucos meses do ano e irregular distribuição geográfico-temporal de seus recursos hídricos superficiais e subterrâneos (TOMASELLA; ROSSATO, 2005). As condições da região semiárido onde está localizado o estado do Ceará, sujeito a secas periódicas e seguidas, provocaram a busca pela adoção de uma política de convivência e mitigadora dos efeitos da estiagem através da construção de reservatórios superficiais, sendo o estado do Ceará o pioneiro na instalação da política de açudagem e posteriormente elevaram o estado a ser classificado como estado brasileiro com maior número de reservatórios (ARAGÃO E OLIVEIRA, 2011). Esses reservatórios tinham, inicialmente, como principal função o armazenamento das águas para o consumo humano e animal, mas passaram ser de importância fundamental nas relações sócio econômica das comunidades rurais, pois foram utilizados no desenvolvimento de diversas atividades como: irrigação fomentando a agricultura familiar, na piscicultura e na perenização de importantes cursos d'água que possibilitaram o incremento de grandes empreendimentos nos polos agrícolas distribuídos por todo o estado do Ceará (ANDRADE, 2002). No estado do Ceará, 93% da água está armazenada em reservatórios superficiais, demonstrando a importância de estudos que mostrem como está a situação dos reservatórios quanto à qualidade e quanto à quantidade de água (MAMEDE, ARAÚJO E MEDEIROS, 2009).

Este trabalho foi desenvolvido na bacia hidrográfica do Orós a fim de analisar o comportamento hidrológico em toda a bacia, utilizando a análise estatística multivariada de características físicas da área, na determinação das variáveis fundamentais na geração do escoamento.

## 4 MATERIAL E MÉTODOS

A pesquisa foi desenvolvida utilizando a área de estudo a bacia do Orós – CE (Figura 1) que possui uma área de 24.636 km<sup>2</sup>, e corresponde a 16,5% do território cearense, sendo a maior bacia hidrográfica do estado do Ceará. A bacia engloba o território de 24 municípios, possuem 18 reservatórios estratégicos, sendo o açude Orós o maior da bacia e o segundo maior do estado do Ceará com uma capacidade de armazenamento de aproximadamente de 1,9 bilhões de m<sup>3</sup> informado pela COGERH (Companhia de Gestão de Recursos Hídricos 2012). Entende-se por estratégico aquele açude com capacidade superior a 1 milhão de m<sup>3</sup> com monitoramento contínuo pela COGERH. A bacia em questão possui uma capacidade de armazenamento de águas superficiais de 2,8 bilhões de m<sup>3</sup>, sendo a segunda maior do estado em capacidade de armazenamento.

**Figura 1.** Espacialização da bacia do Orós.

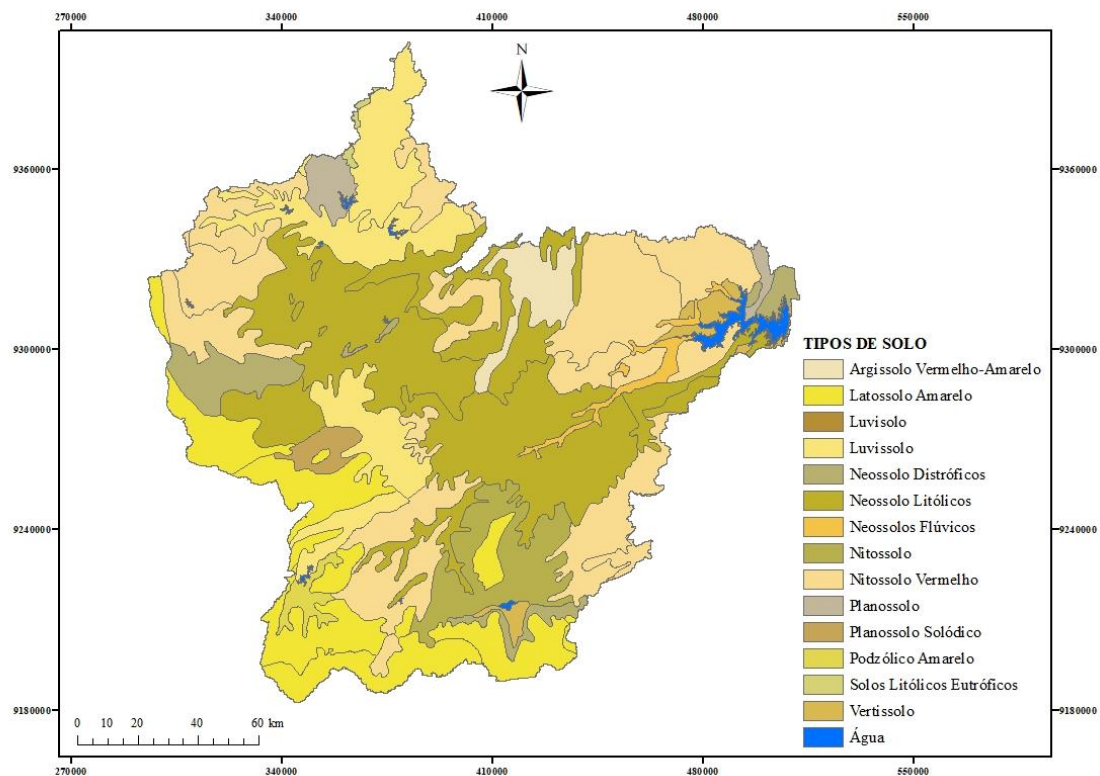


Nos estudos de escoamento superficial em bacias hidrográficas é necessário determinar a precipitação de maneira representativa dentro de toda a área, pois a variabilidade espacial da precipitação é um fator que pode influenciar consideravelmente nos valores reais de chuva dentro da área. Buscando uma boa representatividade da distribuição espacial da precipitação, foram utilizados dados de 114 postos pluviométricos, localizados dentro e no entorno da bacia do Orós, e discretizados para as 18 sub-bacias dos reservatórios considerados. Os dados foram adquiridos na plataforma da Fundação Cearense de Meteorologia e de Recursos Hídricos – FUNCEME (2011).

Os tipos de solo existentes na bacia foram considerados segundo a classificação do levantamento exploratório de solos (RADAMBRASIL, 1981). Encontradas 10 classes principais de solos do tipo: Neossolos Flúvicos (Ae), Nitossolo Vermelho (Pee), Vertissolo (V),

Nitossolo (Ter), Argissolos Vermelho-Amarelo (PE), Neossolos Litólicos (Re), Neossolos Distrófico (Red), Luvisolos (NC), Latossolos Amarelo (Lvd) e Planossolo (PL), conforme a Figura 2.

**Figura 2.** Mapa do levantamento exploratório de solos da bacia do Orós – CE,

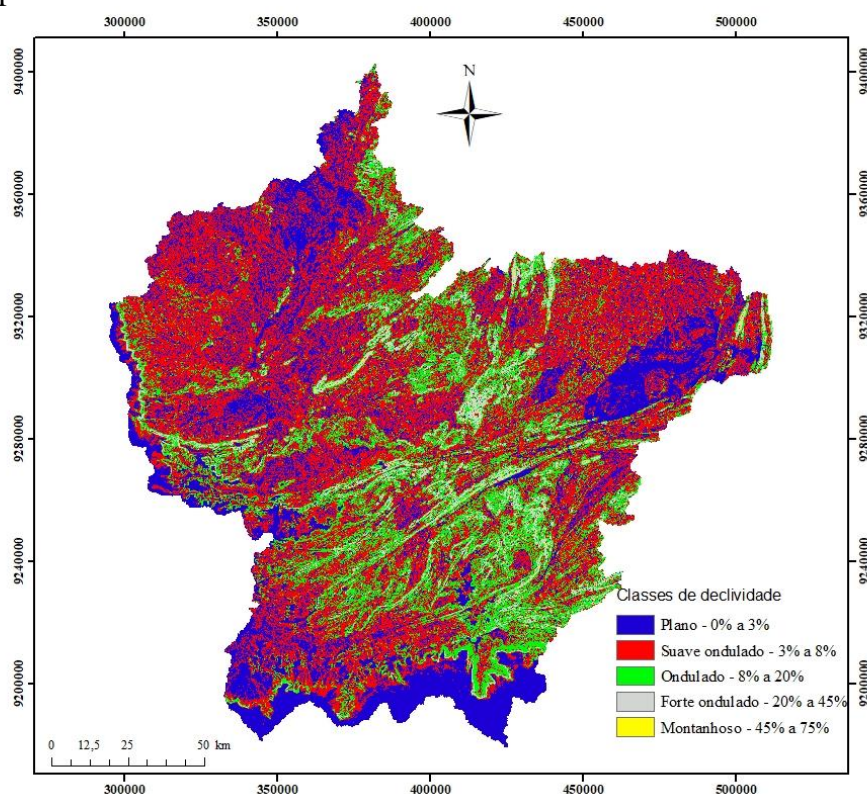


**Fonte:** (RADAMBRASIL, 1981).

Para análise do comportamento hidrológico espacializado na bacia, os dados de balanço hídrico dos 18 reservatórios estratégicos monitorados pela COGERH foram armazenados e processados.

Para estimativa da vazão afluente aos reservatórios estratégicos utilizou-se o balanço hídrico diário destes mananciais, pois não há monitoramento de descargas líquidas a montante destes. Os demais dados necessários para realização do balanço hídrico diário, tais como elevação, área, volume, vazão liberada e vazão de sangria, foram fornecidos pela COGERH, 2011. Os dados de precipitação e evaporação diária foram obtidos dos postos através das estações meteorológicas mais próximas. O balanço hídrico foi calculado desde o Início do monitoramento (desde a construção) do açude até o mês de dezembro de 2014, onde o mesmo foi determinado contabilizando todas as entradas e saídas no reservatório.

Para a determinação das classes de declividade da bacia utilizou-se a classificação proposta pela Embrapa (1999), que possibilitou a espacialização das classes de declividade da bacia (Figura 3).

**Figura 3.** Mapa das classes de declividade na bacia do Orós – CE.

Unidades de Solo e Declividade (USD) são áreas com mesmas características topográficas e pedológicas, resultante da superposição dos mapas destas duas componentes, pelo produto dos códigos definidos para cada classe de solo e declividade (Tabela 1).

**Tabela 1.** Elaboração das unidades hidrológicas na bacia do Orós – CE.

		Solo									
Tipo	Ae	LVd	NC	PE	Pee	PL	Re	Red	V	Ter	
Valor	1,01	1,02	1,03	1,04	1,045	1,05	1,06	1,07	1,08	1,09	
		Declividade (%)									
Classe	0 - 3	3 - 8	8 - 20	20 - 45	45 - 75						
Valor	1	2	3	4	5						

As USD da bacia são produtos da junção de um tipo de solo, com uma faixa de declividade, após ter a sobreposição de todos os mapas disponíveis da bacia para observar áreas com mesma resposta no processo hidrológico.

A identificação dos parâmetros que mais contribuiram para a geração dos pesos do escoamento superficial aplicando o modelo de estatística multivariada, Análise Fatorial (AF), foi realizada em etapas.

A primeira etapa é a medida de adequação dos dados, muito importante, sugerida por Kaiser-Meyer-Olkin Measure of Adequacy (KMO) 1977. O KMO serve para avaliar o valor de entrada das variáveis para o modelo, sendo que seu valor possibilita prover resultados no alcance de 0 a 1 como apresentado por Mingoti (2005), a fim de encontrar o valor do KMO (Tabela 2).

**Tabela 2.** Intervalo do teste KMO.

Valor de KMO	Aplicação do modelo
$KMO \geq 0,9$	Excelente
$0,8 \leq KMO < 0,9$	Ótimo
$0,7 \leq KMO < 0,8$	Bom
$0,6 \leq KMO < 0,7$	Regular
$0,5 \leq KMO < 0,6$	Ruim
$KMO < 0,5$	Inadequado

Fonte: Adaptado por Silveira e Andrade (2002)

Se a soma dos coeficientes de correlação parciais ao quadrado entre os pares de variáveis for pequena comparada à soma dos coeficientes de correlação simples ao quadrado, as medidas de KMO serão próximas a um, que indica que não há restrição ao uso do modelo da análise dos fatores. Valores baixos ou próximo de 0 para o KMO, indicam que o modelo de análise de fator não se aplica (HAIR JR, 2005).

Para atribuir os pesos a cada USD, a partir dos resultados obtidos na análise multivariada com a análise de cargas fatoriais atribuiu-se os pesos a cada USD, os resultados obtidos na análise multivariada com a análise de cargas fatoriais. Nesta análise foram utilizadas as variâncias das componentes e o peso atribuído a cada parâmetro nos fatores extraídos na ACP (análise da componente principal).

## 5 RESULTADOS E DISCUSSÃO

A bacia do Orós apresenta precipitação média anual de 753 mm o que gera um coeficiente de escoamento de 7,3% (Tabela 3). O açude Orós tem capacidade de armazenamento de 1,9 bilhões de m<sup>3</sup> e está localizado no exutório da bacia. O escoamento superficial médio gerado, calculado através do balanço hídrico do reservatório, foi de 44,86 m<sup>3</sup>/s.

Sistema composto por 17 sub-bacias, onde a sub-bacia do reservatório Arneiroz II apresenta a maior área com 5.407 km<sup>2</sup> (21,9%) da bacia do Orós. A precipitação média na bacia é de 775,5 mm e gera um coeficiente de escoamento de 1,49%, valor esse classificado como menor valor de coeficiente de escoamento entre as sub-bacias estudadas, valores semelhantes foram encontrados por Araújo (2003).

Dentre as 17 sub-bacias estudadas, a bacia do reservatório Forquilha II é a que possui menor área (45,4 km<sup>2</sup>), mas em contrapartida apresenta o maior coeficiente de escoamento de 16,36% e predominância de solos com baixa permeabilidade. A precipitação média da sub-bacia é de 793,1 mm e o fluxo médio é de 0,178 m<sup>3</sup>/s.

Analisando a variável hidrológica da precipitação nas bacias estudadas, observou-se um valor máximo para a sub-bacia do Muquém com 1 011,4 mm por ano de lâmina precipitada, maior entre todas as 18 bacias avaliadas. A sub-bacia do açude Favelas apresentou menor precipitação, com 432,4 mm por ano (Tabela 3). A resposta hidrológica apresenta uma alta variabilidade com regiões apresentando alta precipitação e baixo coeficiente de escoamento e vice-versa. Os resultados mostram coeficientes de escoamento variando entre 1,49% e 16,36%.

**Tabela 3.** Características de área, precipitação, escoamento e fluxo da bacia hidrográfica do Orós.

Sub-bacias	Área km <sup>2</sup>	Precipitação média (mm)	Coefficiente de escoamento médio %	Fluxo médio (m <sup>3</sup> /s)
Orós	24 636,0	753,8	7,30	44,860
Arneiroz II	5 407	775,5	1,49	1,986
Benguê	1 062	580,1	6,89	1,346
Canoas	69,25	659,7	7,35	0,847
Do Coronel	65,16	607,9	8,08	0,038
Faé	313,1	892,7	13,98	1,223
Favelas	678	432,4	2,36	0,219
Forquilha II	45,4	793,1	16,36	0,178
Muquém	296,8	1011,4	4,84	0,458
Parambu	112,4	578,3	4,48	0,085
Pau Preto	59,2	578,3	9,81	0,106
Poço das Pedras	800	520,8	3,57	0,471
Quincoé	168	657,8	2,37	0,076
Rivaldo Carvalho	306,4	724,7	10,75	0,786
Trici	552,9	640,9	2,32	0,262
Valério	61,1	837,2	5,40	2,278
Várzea do Boi	1209,6	576,9	4,49	0,050
Trussu	1 567,1	543,0	12,27	2,554

### 5.1 Comportamento do solo na geração do escoamento superficial

As diferentes classes de solos apresentam características diferenciadas quanto aos processos hidrológicos, mesmo em condições semelhantes de topografia, cobertura vegetal e práticas de manejo.

Na bacia foram identificados dez tipos de solos, (Tabela 4). O solo do tipo Neossolo Litólico, compreende a maior porção da bacia do Orós, com uma área de 7250 km<sup>2</sup> representa 29,76% da área total. Entre os solos encontrados nas bacias o que apresentou menor percentual de área foi o solo Vertissolo, encontrado em apenas 1,09 % da área da bacia.

A permeabilidade do solo é afetada por diversos fatores inerentes ao solo. Destaca-se o tamanho das partículas, o índice de vazios, a mistura, a estratificação e o grau de saturação do solo. Na bacia, o solo Neossolo Flúvico apresenta o maior valor de permeabilidade 324 mm.dia<sup>-1</sup>. O Vertissolo, apresentou menor permeabilidade média (24 mm.dia<sup>-1</sup>), conforme Tabela 5.



**Tabela 4.** Percentual dos tipos de solo em cada sub-bacia hidrográfica em relação a área total.

Sub-bacia	Ae (%)	LVd (%)	NC (%)	PE (%)	Pee (%)	PL (%)	Re (%)	Red (%)	V (%)	Ter (%)
Orós	1,1	14,1	11,9	26,7	3,3	2,5	29,7	3,9	1,0	5,1
Faé	-	-	-	100	-	-	-	-	-	-
Trussu	-	-	-	33,0	36,6	-	30,2	-	-	-
Quincoé	-	-	-	98,4	-	-	1,55	-	-	-
Rivaldo Carvalho	-	-	-	-	51,9	-	48,0	-	-	-
Muquém	0,7	-	-	49,4	-	-	49,7	-	-	-
Valério	-	-	-	1,2	-	-	-	-	-	98
Do Coronel	-	-	-	-	-	-	100	-	-	-
Canoas	-	36,5	-	-	-	-	0,06	0,03	0,1	0,5
Pau Preto	-	71,1	-	27,7	-	-	1,1	-	-	0,1
Poço das Pedras	-	97,1	2,2	0,6	-	-	-	-	-	-
Benguê	-	59,4	11,4	-	-	27,1	1,8	-	-	-
Arneiroz II	-	1,2	34,8	32,1	-	5,2	26,0	0,35	-	-
Parambu	-	22,5	-	77,4	-	-	-	0,03	-	-
Trici	-	-	40,7	59,2	-	-	-	-	-	-
Favelas	-	-	51,0	20,8	-	-	28,1	-	-	-
Várzea do Boi	-	-	64,6	13,1	-	19	2,2	-	-	-
Forquilha II	-	-	98,6	-	-	-	1,3	-	-	-

**Tabela 5.** Permeabilidade média dos solos da bacia do Orós.

Tipo de solos	Sigla	Permeabilidade média (mm.dia <sup>-1</sup> )
Neossolos Flúvicos	Ae	324
Argissolos vermelho-amarelo Eutróficos	PE	211
Argissolos vermelho-amarelo	Pee	181
Latossolos amarelo	LVd	170
Planossolos	PL	94
Argissolo vermelho-amarelo	Ter	86
Neossolo litólicos	Re	84
Neossolo distrófico	Red	72
Luvissolos	NC	32
Vertissolos	V	24

Fonte: (JACOMINIE; ALMEIDA; MEDEIROS, 1973)

## 5.2 Comportamento da declividade na geração do escoamento superficial

A declividade é o parâmetro que mostra o entendimento da dinâmica hidrológica e ambiental, sua determinação por levantamento de campo padrão é onerosa, tanto economicamente como temporalmente, considerando ainda a dinâmica das transformações ambientais que alteram continuamente essa topografia. A fim de conhecer as características hidrológicas de cada sub-bacia determinou-se a topografia da área de estudo de maneira detalhada e também de forma separada (Tabela 6).

As sub-bacias Do Coronel, Quincoé, Rivaldo Carvalho, Benguê, Muquém, Várzea do Boi, Canoas, Arneiroz II, Trussu e Orós apresentaram as cinco classes de declividade e as demais apenas 4 classes, (Tabela 6).



A pesquisa buscou obter o peso das variáveis físicas (solo e declividade) da bacia no processo de geração de escoamento sendo imprescindível o levantamento detalhado da declividade da bacia (Tabela 6).

**Tabela 6.** Descrição das classes de declividade das sub-bacia hidrográfica.

Nº	Sub-bacia	0 - 3%	3 - 8%	8 - 20%	20 - 45%	45 - 75%
1	Do Coronel	16,27	46,92	23,25	13,24	0,32
2	Pau Preto	44,84	42,98	11,55	0,63	-
3	Valério	10,71	42,90	41,20	5,19	-
4	Forquilha II	35,07	59,41	5,09	0,43	-
5	Quincoé	20,65	62,12	14,92	2,18	0,13
6	Parambu	17,57	56,38	23,80	2,25	-
7	Trici	36,91	60,90	2,15	0,04	-
8	Rivaldo Carvalho	11,06	50,08	35,34	3,46	0,05
9	Benguê	38,98	44,50	15,11	1,41	0,01
10	Faé	25,96	67,45	6,58	0,01	-
11	Favelas	18,56	54,15	24,98	2,31	-
12	Muquém	21,21	51,47	23,39	3,92	0,01
13	Várzea do Boi	43,06	42,63	12,02	2,29	0,04
14	Poço das Pedras	58,01	34,28	7,22	0,49	-
15	Canoas	28,47	42,91	25,46	3,14	0,01
16	Arneiroz II	33,81	57,07	8,18	0,94	0,02
17	Trussu	20,24	46,90	24,28	8,37	0,21
18	Orós	50,8	7,8	33,3	7,9	0,2

### 5.3 Análise das cargas fatoriais do solo, declividade e das USDs

O teste da adequacidade (Kaiser-Meyer-Olkin, KMO), aplicado para comparar a eficiência dos coeficientes, mostrou que a variável declividade foi a que melhor se adequou ao teste, apresentando valor de KMO igual 0,617 (Tabela 7), o que significa uma adequação regular dos dados ao modelo, indicando que o modelo fatorial pode ser aplicado sem nenhuma restrição, uma vez que a limitação do modelo começa com KMO inferior a 0,5.

No intuito de obter as respostas de cada tipo de solo na geração de escoamento utilizou-se a análise de fator da estatística multivariada, que permite observar os pesos de cada classe de solo na geração de escoamento. A variável dependente nessa análise foi o coeficiente de escoamento superficial, que varia em cada bacia.

**Tabela 7.** Valores do teste de adequação KMO das variáveis analisadas.

Variável	KMO	Aplicação do modelo
Solo	0,557	Ruim
Declividade	0,617	Regular
USD	0,578	Ruim

Na análise estatística de fator para a componente de solos não foi informada a permeabilidade média destes, o que poderia implicar em um resultado tendencioso. Nesta análise, levou-se em consideração apenas o percentual de área de ocupação do solo em cada sub-bacia e a resposta hidrológica nestas, ou seja, o fator de escoamento médio (Tabela 8).

Segundo a análise estatística, o solo do tipo Vertissolo é o que melhor responde ao escoamento superficial, sendo responsável por 23,95%, com um percentual de área de apenas 1,3% da área total da bacia (Figura 4), Respostas similares foram encontrados por (MEDEIROS et al., 2010), apontando baixo escoamento em áreas com este tipo de solo na bacia do Benguê.

Mesmo sem analisar a característica hidrológica do solo, com baixa permeabilidade média ( $24 \text{ mm.dia}^{-1}$ ), a análise estatística foi capaz de comprovar tal informação. Enquanto que Neossolo Litólicos ocupa a maior área da bacia, com 29,7%, e responde por 7,70% do escoamento total gerado, dada a sua maior permeabilidade (Tabela 8).

**Tabela 8.** Análise estatística de fator de cada classe de solo na geração do escoamento superficial na bacia do Orós – CE.

Tipo de solo	F1	Comunalidade	Fator %	Área %
Ae	0,827	0,858	22,70	1,2
LVd	0,143	0,734	2,88	14,1
NC	0,275	0,901	5,43	11,9
PE	0,015	0,926	1,57	26,7
Pee	0,051	0,628	0,51	3,4
PL	0,384	0,807	8,26	2,57
Re	0,332	0,747	7,70	29,7
Red	0,811	0,835	22,38	3,9
V	0,863	0,927	23,95	1,3
Ter	0,176	0,769	4,64	5,1

Variância – 2,659 %

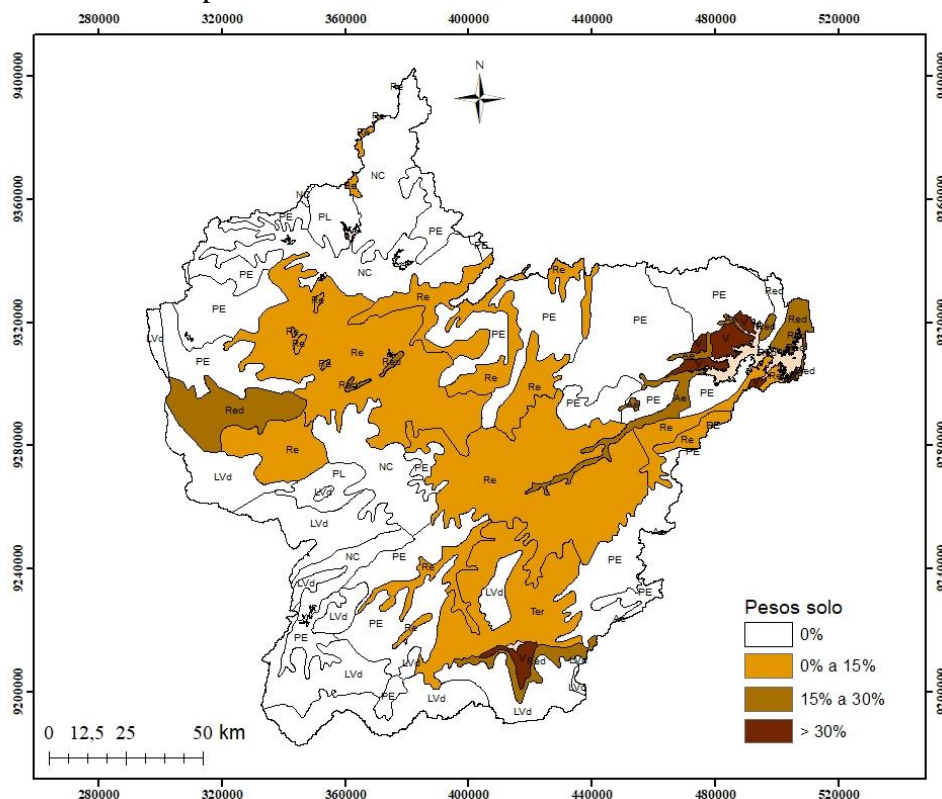
F1 – Fator de adequação; Ae - neossolos flúvicos, Pee - nitossolo vermelho, V - vertissolo, Ter - nitossolo, PE - argissolo vermelho-amarelo, Re - neossolo litólicos, Red - neossolo distrófico, NC - luvisso, LVd - latossolo amarelo e PL – planossolo.

O solo Neossolo Flúvico apresentou o segundo maior peso na geração de escoamento superficial, ocupando uma área de apenas 1,2% da área total da bacia, e considerando, ainda, a alta permeabilidade média associada ( $324 \text{ mm.dia}^{-1}$ ). Este solo é encontrado apenas na região mais baixa da bacia, próximo ao município de Iguatu. Esse comportamento pode ser explicado pelo fato dessa mancha de solo, por estar situado no trecho do rio Jaguaribe à montante do açude Orós, apresentar condições favoráveis ao umedecimento, em virtude dos fluxos provenientes não somente da precipitação direta, mas também pelo escoamento oriundo de outras porções da bacia, seja na parte mais alta da encosta ou gerada nas bacias de montante e conduzida pela calha do rio até atingir essa mancha de solo. Este umedecimento favorece a ocorrência de escoamento por saturação do solo, este tipo de solo que apresenta maiores espessuras e, portanto, maior capacidade de armazenamento que outros mais superficiais sobre embasamento cristalino.

Os resultados da análise estatística multivariada resultaram nos solos das classes: Latossolo Amarelo, Luvisso, Argissolo vermelho-amarelo, Nitossolo Vermelho e Nitossolo pouco respondem a geração do escoamento (Tabela 9).

Observa-se que no fator/componente as variáveis Ae, NC, PE, PL, Red e V apresentaram uma carga superior a 0,8. Em relação à comunalidade, observou-se valores superiores 0,8 em sete das dez variáveis consideradas, o que explica mais de 80% variância total desses parâmetros.

**Figura 4.** Espacialização das faixas das cargas fatoriais das classes de solo na geração do escoamento superficial.



A análise estatística de fator para a componente de declividade da bacia mostrou que as classes com declives mais acentuados (classes 4 e 5, com declividades superiores a 20%) respondem por 52,21% do escoamento superficial gerado na bacia do Orós, apesar de possuírem uma área de apenas 8,1% do total (Tabela 9 e Figura 5). Por outro lado, a classe de declividade 1 (D1), representando 50,8% da área da bacia, responde por apenas 17,53% do escoamento.

A análise de fator da estatística multivariada foi capaz de apontar os terrenos mais declivosos como principais geradores de escoamento, apesar de não terem sido informados ao modelo, nos dados de entrada, os valores da variável declividade.

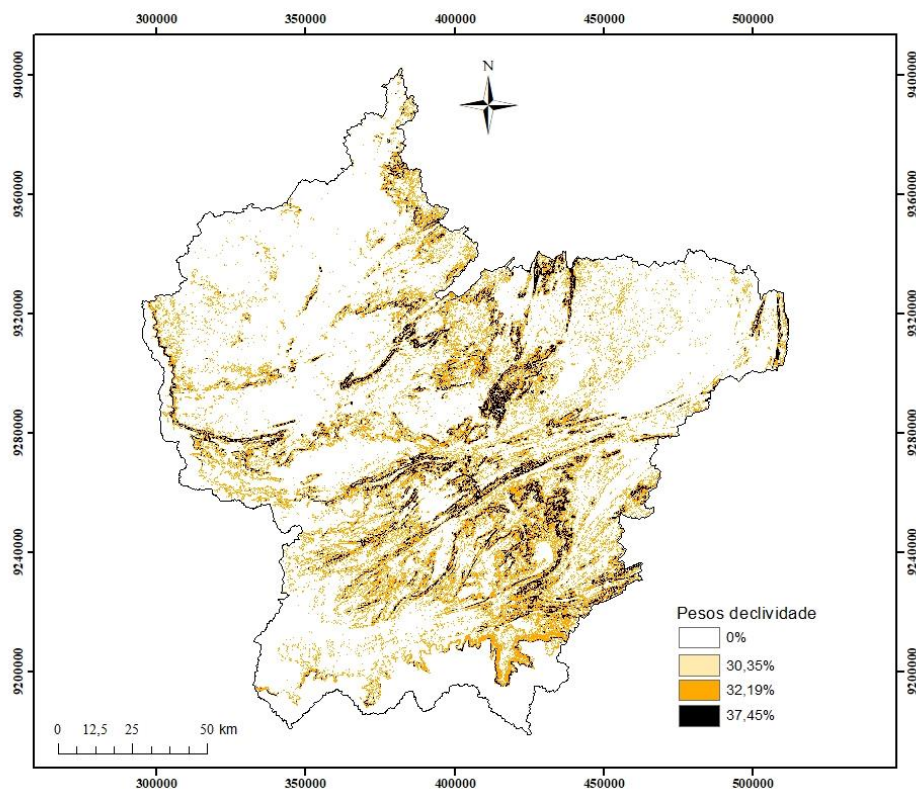
**Tabela 9.** Análise estatística do fator de cada classe de declividade na geração do escoamento superficial na bacia do Orós – CE.

Classe de declividade	F1	Comunalidade	Fator %	Área %
D1	0,56	0,924	17,53%	50,8
D2	0,181	0,88	5,67%	7,8
D3	0,786	0,624	24,60%	33,3
D4	0,915	0,847	28,64%	7,9
D5	0,753	0,554	23,57%	0,2

Variância – 2,77

D1 - declividade > 3%; D2 – declividade de 3% - 8%; D3 – declividade de 8% - 20%; D4 – declividade de 20% - 45%; D5 - declividade > 75%, F1 – Fator de adequação.

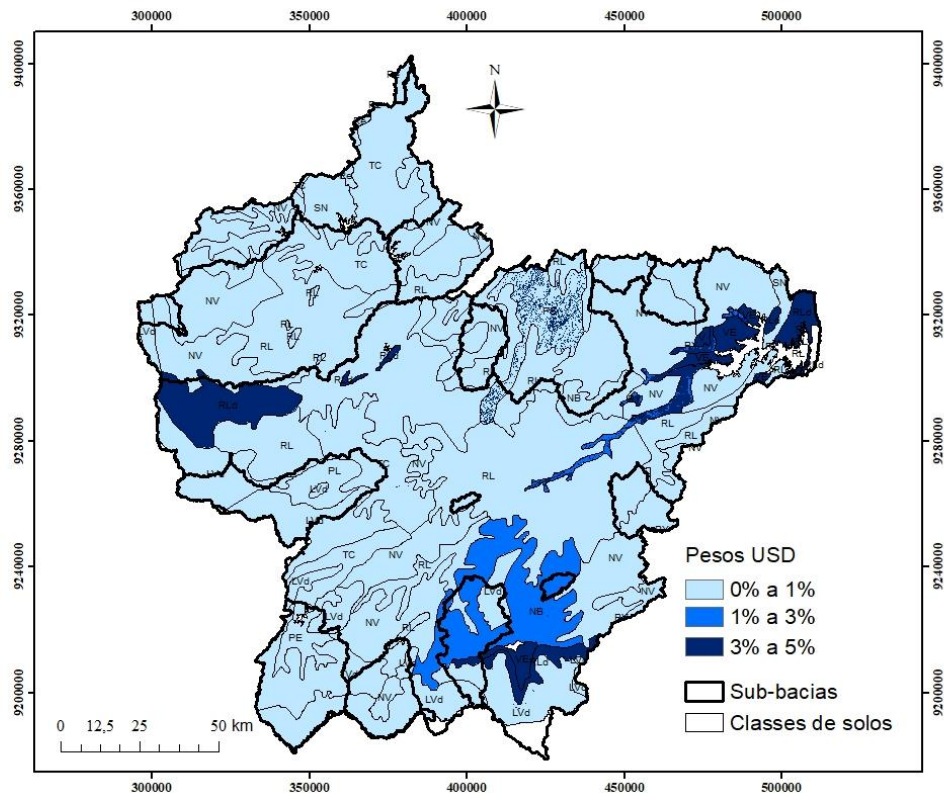
**Figura 5.** Espacialização das faixas das cargas fatoriais das classes de declividade na geração do escoamento superficial



A Figura 6, por sua vez, confirma o comportamento descrito anteriormente, com maior peso na geração de escoamento para as classes que ocupam menores áreas. Resposta semelhantes foram encontradas por De Vente et al. (2008).

Os resultados mostraram maiores pesos para USDs com presença dos solos Vertissolos, solos Neossolo Litólico e distrófico, e solos Neossolos Flúvicos, mesmo quando combinados com terrenos menos declivosos (inferiores a 20%), o que sugere uma maior importância da componente de solo sobre a de declividade na geração do escoamento superficial na bacia do Orós.

**Figura 6.** Mapa da composição das unidades de solo e declividade e as cargas fatoriais na geração do escoamento superficial.



## 6 CONCLUSÕES

A análise de fatores da estatística multivariada mostrou ser uma ferramenta para explicar a resposta hidrológica na bacia do Orós, apontando solos menos permeáveis e terrenos mais declivosos como os elementos mais importantes para geração do escoamento.

A resposta dos pesos obtidos através da análise de fator da estatística multivariada depende da resolução espacial do mapa que está sendo utilizado. Quanto a resolução espacial, melhores são os resultados encontrados.

## 7 REFERÊNCIAS

ANDRADE, E. M.; SILVEIRA, S. S. Análises de componentes principais na investigação da estrutura da evapotranspiração. **Engenharia Agrícola**, Jaboticabal, v. 22, n. 2, p. 171-177, 2002.

ARÃO, D. A.; OLIVEIRA, J. G. B.; Gestão de recursos hídricos: aspectos da pequena açudagem na gestão de sub-bacias no Ceará. *Revista de Engenharia Ambiental - Espírito Santo do Pinhal*, v. 8, n. 2, p. 038-049, abr./jun. 2011.

ARAÚJO, J. C. Assoreamento em reservatórios do semiárido: modelagem e validação. **Revista Brasileira de Recursos Hídricos**, Porto Alegre, v. 8, n. 2, p. 39-56, abr./jun, 2003.

BACELLAR, L. A. P. O papel das florestas no regime hidrológico de bacias hidrográficas. **Geo.br**, Ouro Preto, v.1, p. 1-43, 2005. Disponível em: <<http://jararaca.ufsm.br/websites/deaer/download/VIVIEN/Texto06/exartigorevisao.pdf>> Acesso em: 15 mar. 2012.

CARVALHO, D. F.; SILVA, L. D. B. Apostila de Hidrologia. Rio de Janeiro: Universidade Federal Rural do Rio de Janeiro, 2006. cap. 2, p. 11-14.

DE VENETE, J.; POESEN, J.; VERSTRAETEN, G.; VAN ROMPAEY, A.; GOVERS, G. Spatially distributed modelling of soil erosion and sediment yield at regional scales in Spain. **Global and Planetary Change**, Amsterdam, v. 60, n. 3/4, p. 393-415, 2008.

EMBRAPA. Centro Nacional de Pesquisa de Solos. **Sistema brasileiro de classificação de solos**. Brasília, DF: Embrapa Produção de Informação; Rio de Janeiro: Embrapa Solos, 1999. 412 p.

FUNDAÇÃO CEARENSE DE METEOROLOGIA E RECURSOS HIDRICOS - FUNCEME. Rede de monitoramento. Fortaleza, 2011. Disponível em: <<http://www.funceme.br/index.php/areas/rede-de-monitoramento/plataforma-de-coleta-de-dados>>. Acesso: 20 dez. 2011.

HAIR JR, J. F. ANDERSON, R. E., TATHAM, R. L., BLACK, W. C. **Análise multivariada de dados**. Porto Alegre: Bookman, 2005. 593 p.

JACOMINE, P. K. T.; ALMEIDA, J. C.; MEDEIROS, L. A. R. **Levantamento exploratório-reconhecimento de solos do Estado do Ceará**. Recife: EMBRAPA, 1973. v. 2, 830 p. (DPP Boletim Técnico, 28; SUDENE Série Pedologia, 16).

MEDEIROS, P. H. A.; GUENTNER, A.; FRANKE, T.; MAMEDE, G. L.; ARAÚJO, J. C. Modelling spatio-temporal patterns of sediment yield and connectivity in a semi-arid catchment with the WASA-SED model. **Hydrological Sciences Journal**, on line, v. 55, 636-648, 2010.

MAMEDE, G. L.; ARAUJO, J. C.; MEDEIROS, P. H. A. Modelagem hidrossedimentológica de pequenos reservatórios da bacia hidrográfica do Benguê. In: IDE, C. N.; VAL, L. A. A.; RIBEIRO, M. L. **Produção de sedimentos e seus impactos ambientais, sociais e econômicos**. Campo Grande: Editora Oeste, 2009. v. 4, p. 393-410.

MINGOTI, S. A. **Análise de dados através de métodos de estatística multivariada: uma abordagem aplicada**. Belo Horizonte: Editora UFMG, 2007.

RADAMBRASIL. **Folhas SB 24/25 Jaguaribe/Natal**: geologia, geomorfologia e pedologia: Rio de Janeiro: Ministério de Minas e Energia, 1981.

SILVEIRA, S. S., ANDRADE, E. M. Análise de componentes principais da estrutura multivariada da evapotranspiração. **Revista Engenharia Agrícola**, Jaboticabal, v. 22, n. 2, p. 171-177, 2002.

TOMASELLA, J. T. G.; ROSSATO, L. **Tópicos em meio ambiente e ciências atmosféricas: balanço hídrico**. São José dos Campos: INPE, 2005.