

Variação da vegetação e sua relação com o Índice topográfico de umidade – ITU no enclave subúmido das Serras Sertanejas-Paraíba, Nordeste, Brasil

Variation of vegetation in the dry and rainy years and its relation with the topographic index of humidity - ITU in the subclimate enclave of Serras Sertanejas, Paraíba, Northeast, Brazil

Elânia Daniele Silva Araújo*, Jonas Otaviano Praça de Souza**, Célia Cristina Clemente Machado***

* Departamento de Geografia, Universidade Federal da Paraíba, e-mail: elaniadani@hotmail.com

** Departamento de Geografia, Universidade Federal da Paraíba, e-mail: jonas.souza@academico.ufpb.br

*** Centro de Ciências Biológicas e Sociais Aplicadas, Universidade Estadual da Paraíba, e-mail: celiaccmachado@gmail.com

DOI: <http://dx.doi.org/10.5380/raega.v50i0.74614>

Resumo

O entendimento da dinâmica dos ambientes semiáridos tem se tornado cada vez mais necessário, principalmente quando se trata da complexidade de interação dos seus elementos naturais, por esse ser um ambiente dotado de particularidades. O semiárido brasileiro possui uma grande diversidade paisagística e a interação dos seus elementos naturais proporcionará a formação das áreas de exceção, principalmente por sua disposição orográfica, proporcionando naquele ambiente um diferenciado regime de chuvas, solos e vegetação. Localizado no Sertão Paraibano está o complexo de Serras, objeto de estudo dessa pesquisa, que possui um regime diferencial quanto aos seus aspectos geoambientais. A fim de entender suas particularidades, buscou-se identificar a relação entre a topografia e a umidade na manutenção da vegetação local. Para tanto, foram aplicados o Índice Topográfico de Umidade (ITU) e o Índice de Vegetação aplicado ao solo (IVAS), a fim de identificar se há correlação entre essas duas variáveis. Para o ano chuvoso o ITU não apresentou uma correlação com a variação da biomassa, devido ao aumento da precipitação, inclusive da que não é identificada pelos postos pluviométricos, mas apresentou para o ano seco. Embora não tenha havido uma correlação direta entre os índices, os resultados permitem a percepção de que há a existência de uma vegetação particular que se mantém principalmente por sua interação com o clima local que influenciado pela altitude proporciona uma maior umidade e um regime de precipitação acima da média do semiárido, porém os postos pluviométricos não representam a precipitação que possivelmente ocorre no topo das Serras.

Palavras-chave: Semiárido; Áreas de exceção; Índice de vegetação.

Abstract

The understanding of semiarid environments dynamics has become increasingly necessary, especially when it comes to the interaction complexity of their natural elements and its particularities. Brazilian semiarid shows wide-ranging landscapes diversity. Variations on the interaction of the natural factors can generate sub-humid areas, controlled by an altimetric increase, creating a differentiated rainfall regime, soils and vegetation assembly. This paper analyses a Sierra complex, located on Paraíba drylands that shows different geoenvironmental patterns. It was identified the relationship between topography and soil moisture-retaining and how this affects the vegetation dynamic. For this purpose, the Topographic Wetness Index (TWI) and the Soil Adjusted Vegetation Index (SAVI) were applied to identify if there is a correlation between these two variables. For the wet year, the TWI did not present relationships with the biomass variation due to increased rainfall, including that which is not identified by rain gauges, but presented for the dry year. Although there was no direct correlation between the indices, the results allow the perception that there is the existence of particular vegetation that is maintained mainly by its interaction with the localized rainfall events. That influenced by the altitude provides a higher humidity and a precipitation regime above the average of the semiarid. Still, the rain gauges do not represent the probable precipitation events of the highlands.

Keywords: Semi-arid. Areas of exception. Index of vegetation.

I. INTRODUÇÃO

O entendimento da dinâmica dos ambientes semiáridos tem se tornado cada vez mais necessário, principalmente quando se trata da complexidade de interação dos seus elementos naturais por esse ser um ambiente dotado de particularidades. Especificamente, o semiárido brasileiro é considerado o mais chuvoso do mundo, além disso possui um bioma exclusivo (MALVEZZI, 2007; MIN, 2005; FUNDAJ, 2002; REICH & BORCHERT, 1984). É conhecido por sua irregularidade no regime pluviométrico e pela adaptação da vegetação de caatinga as condições do clima local.

O semiárido brasileiro possui uma diversidade paisagística, os planaltos e depressões ali localizados apresentam uma variedade de formas que em conjunto com a geologia, geomorfologia, clima, solos e vegetação propiciará a formação de diversos habitats. É essa interação dos elementos naturais que também proporcionará a formação das áreas de exceção, principalmente por sua disposição orográfica, proporcionando naquele ambiente local um diferenciado regime de chuvas, solo e vegetação. Essas áreas possuem uma expressiva importância, principalmente para a economia regional, embora sejam ainda pouco exploradas quanto aos componentes abióticos da paisagem.

As áreas de serras apresentam um maior regime de chuva, por sua vez, apresentam também um maior teor de água em superfície, que pode ser observado quando aplicado o Índice Topográfico de Umidade – ITU

(Topographic Wetness Index - TWI), tal índice permite identificar por meio de dados topográficos a distribuição e potencial de umidade em superfície, a partir da utilização do Sensoriamento Remoto, também irá permitir a análise da concentração da água na superfície e a velocidade com a qual ela é removida (ALI et al., 2010; NEVES, 2005).

Baseada na abordagem sistêmica, essa pesquisa versa sobre a importância dessas áreas de exceção dentro do semiárido brasileiro, partindo da hipótese de que as áreas em que há um maior ITU apresentarão um maior nível de biomassa, pretendeu-se identificar a relação entre a topografia e a umidade na manutenção da vegetação do complexo de serras no Alto Sertão da Paraíba, utilizando imagens de satélite Landsat e técnicas de Sensoriamento Remoto.

Alguns trabalhos têm sido desenvolvidos no Brasil utilizando o índice topográfico de umidade, e embora alguns utilizem os índices de vegetação não há uma correlação entre eles. Lunguinho et al. (2016) analisaram o ITU em conjunto com o IVDN, os autores utilizaram o ITU para entender a influência que os inselbergs exercem na existência de áreas mais úmidas na caatinga. Os autores constataram que esses afloramentos apresentam declividades mais acentuadas em torno de 18 a 39 graus, favorecendo o escoamento superficial pra áreas ao entorno, fazendo com que haja uma manutenção da vegetação.

Em uma análise feita numa unidade de conservação no Paraná, Hung et al. (2016) utilizaram o ITU como suporte ao planejamento e gestão. Os autores constataram que o índice se mostrou eficaz no mapeamento de ambientes hidromórficos através da análise da distribuição espacial de solos e da paisagem.

Na bacia do Lajeado Ferreira no Rio Grande do Sul, Minella e Merten (2012), utilizaram o ITU aplicado à modelagem agrícola e ambiental, os autores concluíram que a utilização de índices topográficos representa uma contribuição relevante para o planejamento agrícola e ambiental através da modelagem de processos hidrológicos, geomorfológicos e biológicos.

Diante do exposto é possível perceber que os trabalhos com ITU no Brasil estão relacionados com planejamento, mapeamento de ambientes hidromórficos, bem como métodos para mapeamento de solo (COELHO e GIASSON, 2010), mas não necessariamente correlacionando com a vegetação, como foi o foco dessa pesquisa.

II. MATERIAIS E MÉTODOS

O complexo de Serras está localizado na região semiárida brasileira, no sertão do estado da Paraíba, estende-se por uma área de aproximadamente 328,3 km², abrangendo 13 municípios, desde o município de Cajazeiras até Condado (Figura 1). É uma área de significativa importância dentro do Sertão, visto que, alberga um dos poucos lugares com caatinga do tipo florestal, graças ao conjunto dos fatores microclimáticos e geomorfológicos, bem como da variação de altitude entre 189 e 830 m que a torna um lugar privilegiado dentro do semiárido. Além de contar com uma grande quantidade de nascentes que alimenta o açude Mãe d'Água/Coremas, maior da Paraíba.

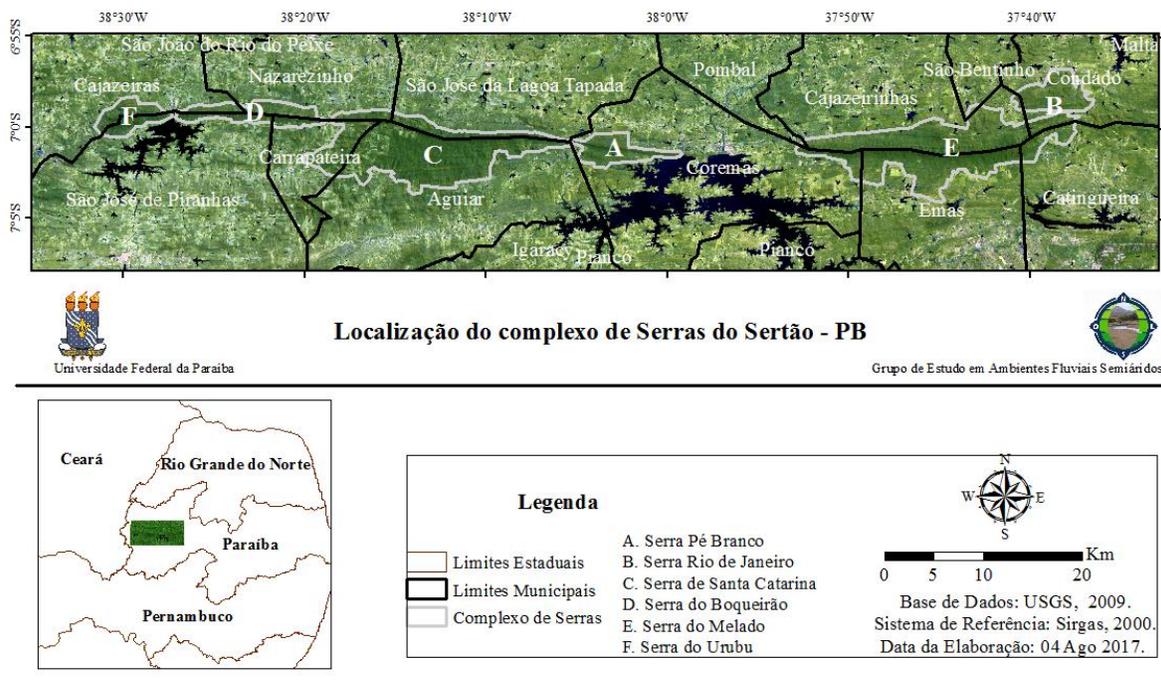


Figura 1. Localização do complexo de Serras do Sertão – PB
Org. do Autor, 2017.

Dentro dos procedimentos metodológicos estão a escolha dos anos considerados seco e chuvoso para análise da vegetação; aplicação do índice de vegetação e topográfico de umidade e as visitas a campo para a coleta de dados e validação dos resultados obtidos por sensores.

A escolha dos anos surgiu da necessidade de verificar a variação da biomassa da vegetação, quanto a sua perda de folhas, a partir de sua resposta espectral para o índice, em períodos distintos. Para tanto, foi utilizada a técnica de quantis, seguindo a mesma metodologia de Sena (2017). Esta técnica se baseia na distribuição da frequência acumulada, possibilitando estabelecer ou delimitar faixas com regimes de chuvas

diferenciados, a exemplo: extremamente seco (ES), muito seco (MS), seco (S), normal ou habitual (N ou H), chuvoso (C), muito chuvoso (MC) e extremamente chuvoso (EC). Para essa pesquisa foram adotadas apenas as classificações C e S, seguindo as ordens quantílicas de probabilidade 0,85 e 0,15, respectivamente. O ano classificado como chuvoso foi 2008 e o classificado como seco foi 2015.

Após a identificação dos anos, foram escolhidas 10 imagens de órbita 215 e ponto 65 dos sensores TM e OLI dos satélites Landsat 5 e 8 (L5 e L8). A primeira imagem foi escolhida o mais próximo possível ao período chuvoso e a partir dessa foram obtidas todas as imagens seguintes até o final do período seco (Tabela 1), seguindo a disponibilidade de imagens sem nuvens.

Tabela 1: Data e Sensor das imagens

TM - Landsat 5	OLI - Landsat 8
23-06-2008	27-04-2015
29-08-2008	13-05-2015
01-11-2008	04-10-2015
17-11-2008	05-11-2015
19-12-2008	07-12-2015

Org. do Autor, 2018.

A escolha das imagens permitiu identificar os intervalos de análise para a área de estudo. Para cada ano foram definidos quatro intervalos (Tabela 2). No terceiro intervalo, utilizou-se duas imagens do mesmo mês por não haver disponibilidade de imagens de outros meses que permitissem fechar os quatro intervalos de análises.

Tabela 2. Identificação dos intervalos de análise

Intervalos	Ano Chuvoso (2008)	Ano Seco (2015)
1º	Entre os meses 04 e 08	Entre os meses 04 e 05
2º	Entre os meses 08 e 11	Entre os meses 05 e 10
3º	Entre os dias 1 e 17 do mês 11	Entre os meses 10 e 11
4º	Entre os meses 11 e 12	Entre os meses 11 e 12

Org. do Autor, 2018.

As imagens foram recortadas conforme a delimitação territorial da área de estudo e em seguida reprojctadas. O processamento das imagens de satélite para o Landsat 5 foi iniciado com a calibração radiométrica proposta por Markham & Baker (1987), em sequência foi feita a razão entre o fluxo da radiação

solar refletida e o fluxo de radiação solar incidente segundo equação indicada por Bastiaanssen et al. (1995); Allen et al. (2002) e Silva et al. (2005).

Para o Landsat 8, o processamento da calibração radiométrica é necessário apenas para a estimativa da temperatura, levando em consideração que esse não é o objetivo do trabalho, esse passo foi descartado seguindo imediatamente para cômputo da reflectância que pôde ser obtido a partir da fórmula disponibilizada pelo USGS (2015). Após o processamento das imagens foi aplicado o índice de vegetação ajustado ao solo - IVAS (Soil Adjusted Vegetation Index- SAVI), que busca amenizar os efeitos do background do solo (HUETE, 1988).

O índice topográfico de umidade é aplicado no modelo digital de elevação (MDE), para tanto, foi usado o SRTM de 30m de resolução. Esse índice está relacionado com a umidade do solo e sua capacidade de escoamento, visto que, os perfis com maior umidade estão mais susceptíveis de se tornarem saturados, dessa maneira ao incidir a precipitação sobre o terreno será mais rápido o escoamento. (HARDY, 2010; ROA LOBO e ULRICH, 2012). Esse índice foi desenvolvido pela primeira vez por Beven e Kirkby (1979). Esse modelo, expressa de forma parcial o volume relativo e a quantidade de movimento de fluxo que passa em cada ponto do solo.

Quanto maior os valores do ITU, significa dizer que maior é a umidade daquele ponto, baseado na configuração topográfica, quando houver uma inclinação maior, menor será a concentração de umidade naquela área, por sua vez, possuirá solos menos encharcados, áreas com elevados valores de ITU são zonas de concentração de água. A precisão desse índice estará relacionada com a precisão da escala usada no modelo digital de elevação (ALCANTARA-AYALA, 2000; ROA e ULRICH, 2012).

Para identificar se há uma correlação entre o índice topográfico de umidade e a variação da vegetação foi feita a correlação de Pearson no software Excel, para identificar estatisticamente a correlação linear entre as duas variáveis (Equação 1).

$$r = \frac{\sum(x_i - \bar{x})(y_i - \bar{y})}{\sqrt{(\sum(x_i - \bar{x})^2)(\sum(y_i - \bar{y})^2)}} \quad (1)$$

Em que x_i e y_i são os valores das variáveis X e Y. \bar{x} e \bar{y} são respectivamente médias dos valores x_i e y_i .

A validação dos resultados foi efetuada a partir de visitas de campo. A primeira, referente ao período chuvoso, entre os dias 28-06 e 01-07-2016, a partir dela foram escolhidos 13 pontos para serem analisados. A segunda foi entre os dias 01 e 06-09-2017 no período seco.

III. RESULTADOS E DISCUSSÃO

O ITU terá uma relação direta com a declividade, pois leva em consideração a área de captação de fluxo, desse modo, será representado a média do ITU e sua relação com a declividade de cada ponto. O ITU apresentou uma variação média para toda a área entre 5,815 e 27,42, já os pontos escolhidos tiveram valores variantes entre 8,045 e 13,322. Os pontos que se destacaram com um maior potencial de umidade foram P5 e P6 com valores de 12,066 e 13,322, respectivamente, os menores valores foram dos P7 ao P11, os demais se mantiveram com valores médios (Tabela 3).

Tabela 3. Localização dos pontos estudados e suas médias de Média ITU, Declividade (°) e Altitude (m)

Pontos	Município	Serra	Altitude (m)	Declividade (°)	ITU
P1	São José de Piranhas	Serra do Boqueirão	375	10,813	10,359
P2	São José de Piranhas	Serra do Boqueirão	351	9,206	9,457
P3	São José de Piranhas	Serra do Boqueirão	337	4,285	11,208
P4	São José de Piranhas	Serra do Boqueirão	364	7,821	10,966
P5	Carrapateira	Serra do Boqueirão	335	4,629	13,322
P6	Carrapateira	Serra do Boqueirão	402	4,194	12,066
P7	Carrapateira	Serra de Santa Catarina	552	17,672	8,045
P8	Carrapateira	Serra de Santa Catarina	661	13,556	8,095
P9	Carrapateira	Serra de Santa Catarina	675	9,64	8,521
P10	Aguiar	Serra de Santa Catarina	712	9,388	8,763
P11	Aguiar	Serra de Santa Catarina	718	16,587	8,563
P12	Aguiar	Serra de Santa Catarina	648	4,714	9,03
P13	Cajazeirinhas	Serra do Melado	296	9,303	10,794

Org. do Autor, 2018.

É perceptível que os pontos com maiores valores de ITU estão relacionados com as menores declividades e por sua vez com as menores altitudes, o contrário também acontece, isso porque o índice leva em consideração a área de fluxo acumulado, dessa forma, as áreas mais íngremes não acumularão fluxo, sendo esse acumulado nas áreas mais planas, como é o caso do P5 e P6, que obtiveram os maiores valores, por estarem localizados próximos aos reservatórios de água (Figuras 2 e 3).

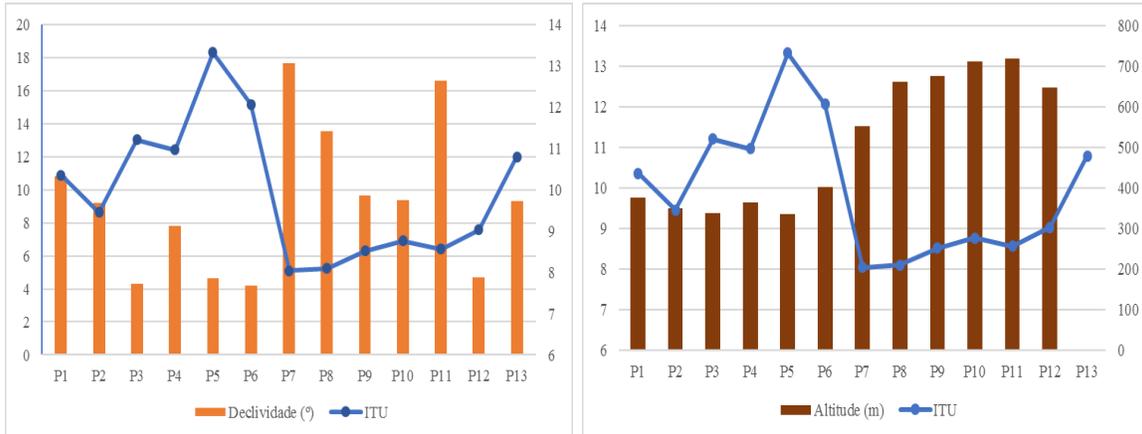


Figura 2. Relação entre o ITU, Declividade (°) e Altitude (m) de cada ponto Org. do Autor, 2018.

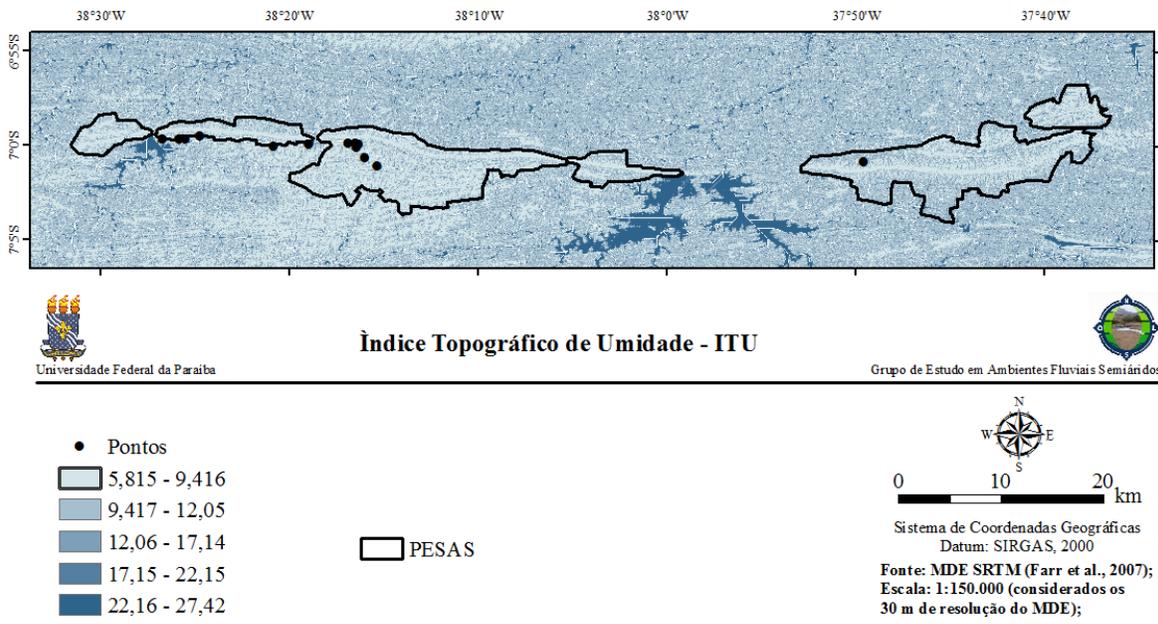


Figura 3. Índice Topográfico de Umidade – ITU Org. do Autor, 2018.

Ano chuvoso (2008)

Para a correlação do ITU com o IVAS no ano chuvoso foram utilizados 4 intervalos de observação, obedecendo a ordem de disponibilidade das imagens de satélite sem cobertura de nuvem para a área. Os dois primeiros intervalos de análise perderam biomassa, para o primeiro intervalo destacam-se os pontos 3 e 2 e para o segundo o P8 que apresentaram uma diminuição de 74,4,2, 65,69% e 83,03% respectivamente. Essas foram as maiores perdas dentre todos os pontos de todos os intervalos analisados.

Esses pontos apresentaram uma média de ITU consideradas intermediária (9,457), alta (11,208) e baixa (8,095), respectivamente. Esse comportamento em que todos os pontos perderam biomassa, pode ser explicado pelo fato de estar no auge do período seco e pela ausência de precipitação nessa época em todos os postos pluviométricos (Tabela 4).

Tabela 4. Precipitação mensal dos postos próximos aos pontos (mm) no ano de 2008.

Mês	Aguiar	Coremas	Carrapateira	Emas	Nazarezinho	S. J. da Lagoa Tapada	S. José de Piranhas
1	76,7	91,8	95,8	21,4	152,4	36,2	173,7
2	247,0	237,2	241,4	133,3	210,0	26,0	309,2
3	543,7	530,7	509,4	361,4	563,0	31,7	686,3
4	298,8	244,0	242,7	166,3	194,2	5,2	198,3
5	187,6	233,0	143,4	93,9	235,6	0,0	107,3
6	46,6	34,0	13,0	3,2	18,7	0,0	2,3
7	51,6	33,3	33,6	0,0	17,0	0,0	27,0
8	0,0	0,0	0,0	4,7	0,0	0,0	5,6
9	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
10	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
11	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
12	8,8	22,2	0,0	0,0	0,0	0,0	60,9

Fonte: Aesa, 2018.

Org. do Autor, 2018.

A análise do 3º intervalo permitiu identificar que três pontos ganharam biomassa, mesmo sem haver precipitação para os últimos quatro meses, com destaque para o P1 que obteve um acréscimo de 8,70%. Relacionando com o ITU, os P8 e P10 possuem um valor baixo e ganharam biomassa, ao mesmo tempo o P9 que também possui um valor baixo perdeu uma elevada porcentagem, em uma outra situação o P3 com ITU considerado entre médio e alto também ganhou biomassa. Os demais pontos, tanto com valores de ITU alto, médio e baixo apresentaram uma perda média, o que significa dizer que não houve um padrão de situações análogas entre os resultados.

Para o último intervalo analisado todos os pontos, exceto os P8 e P12, obtiveram ganho, ou seja, tanto os pontos com baixo, médio e alto ITU obtiveram ganho. Embora, tenha havido a precipitação nos postos de Aguiar (8,8mm), Coremas (10mm) e em São José de Piranhas (60,9mm) (Tabela 5), essa não influenciará em todos os pontos, fazendo com que todos pudessem ganhar biomassa, devido à distância existente entre os postos e os pontos.

Tabela 5. Variação da biomassa para o ano chuvoso (2008).

Pontos	ITU	1º Intervalo	2º Intervalo	3º Intervalo	4º Intervalo
P1	10,359	63,78%	25,51%	10,33%	8,70%*
P2	9,457	65,69%	37,39%	10,07%	1,90%*
P3	11,208	74,47%	41,76%	1,50%*	1,90%*
P4	10,966	60,40%	7,56%	13,64%	2,30%*
P5	13,322	47,70%	31,35%	10,50%	0,60%*
P6	12,066	59,31%	4,52%	31,36%	0,70%*
P7	8,045	54,48%	36,61%	11,80%	0,20%*
P8	8,095	55,03%	83,03%	2,10%*	10,29%
P9	8,521	57,93%	35,00%	24,26%	0,50%*
P10	8,763	52,30%	42,97%	0,10%*	0,90%*
P11	8,563	44,90%	33,33%	4,04%	0,50%*
P12	9,03	51,76%	23,74%	5,39%	32,28%
P13	10,794	1,09%	28,18%	6,15%	0,60%*

Ganho de biomassa*

Org. do Autor, 2018

Ano Seco (2015)

Para o ano seco houve uma situação semelhante para os dois primeiros intervalos analisados, ambos apresentaram perda de biomassa, além do último. No segundo intervalo todos os pontos apresentaram uma perda acima de 45%, o P11, P8 e P7 com perdas de 63,58, 63,37 e 63,05%, respectivamente.

A distância de tempo entre a data das imagens, proporcionou uma perda relativamente maior nesse intervalo, com relação aos demais, foram 5 meses de distância entre uma imagem e outra, uma que estava inserida na estação chuvosa e a outra totalmente pertencente a estação seca. Todos esses pontos estão localizados no topo da Serra, caracterizados por uma altitude elevada e baixos valores de ITU. O ponto com menor perda foi P2 com 46,77% que possui um ITU baixo.

É perceptível que também no ano seco, o índice não representou um padrão. Os maiores valores não estiveram associados com perda ou ganho de biomassa, pelo contrário, foi identificado perda de biomassa em pontos com ITU variados.

No terceiro intervalo 5 pontos obtiveram um ganho de biomassa, foi o único intervalo que apresentou ganho significativo entre os pontos, sendo esses do P1 ao P4 e o P6 (4,80%; 2,80%; 2,20%; 0,70%; 1,40%, respectivamente) (Tabela 6).

Tabela 6. Variação da biomassa para o ano seco (2015).

Pontos	ITU	1º Intervalo	2º Intervalo	3º Intervalo	4º Intervalo
P1	10,359	10,08%	57,62%	4,80%*	2,40%*
P2	9,457	21,50%	46,77%	2,80%*	3,48%
P3	11,208	13,92%	55,22%	2,20%*	3,96%
P4	10,966	12,86%	50,12%	0,70%*	1,82%
P5	13,322	23,91%	48,13%	0,48%	7,73%
P6	12,066	6,82%	48,54%	1,40%*	5,78%
P7	8,045	26,84%	63,05%	2,80%	5,04%
P8	8,095	16,64%	63,37%	6,18%	5,99%
P9	8,521	18,90%	59,71%	3,01%	6,21%
P10	8,763	6,72%	62,88%	2,35%	4,22%
P11	8,563	12,35%	63,58%	1,66%	3,93%
P12	9,03	4,20%*	55,27%	1,05%	3,17%
P13	10,794	39,36%	57,38%	0,00%	1,54%

*Ganho de biomassa

Org. do Autor, 2018.

Alguns postos pluviométricos registraram precipitação nesse intervalo, porém essa foi sempre abaixo de 10mm (Tabela 7) e concentradas no dia 31/10, ou seja, 6 dias antes da data da segunda imagem analisada (05/11) para esse intervalo, desse modo, 5 pontos ganharam biomassa nesse intervalo de análise.

Tabela 7. Precipitação mensal dos postos próximos aos pontos (mm) no ano de 2015.

Mês	Aguiar	Coremas	Carrapateira	Emas	Nazarezinho	S. J. da Lagoa	
						Tapada	S. José de Piranhas
1	52,4	0,0	112,5	6,8	70,1	94,2	48,8
2	58,0	81,2	76,0	47,8	104,4	103,1	74,0
3	282,8	303,7	336,0	258,8	320,7	276,9	257,9
4	91,2	42,8	86,2	65,0	31,5	10,3	37,5
5	3,7	6,4	28,8	10,3	13,3	6,4	54,3
6	13,2	19,0	15,0	14,1	27,5	40,6	64,5
7	58,3	34,2	53,0	27,4	50,1	13,5	65,9
8	0,0	5,3	0,0	0,0	5,0	0,0	2,4
9	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
10	8,6	3,0	0,0	0,0	7,8	10,1	2,9
11	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
12	0,0	24,9	10,0	30,5	7,0	26,3	13,8

Fonte: Aesa, 2018.

Org. do Autor, 2018.

Essa precipitação possivelmente influenciou no ganho de biomassa, porém é possível também que tenha havido uma maior quantidade de precipitação no topo da serra com uma proximidade maior dos pontos

estudados e que os postos pluviométricos por estarem numa altitude e declividade menor, não tenham registrado.

Foi possível diagnosticar que para ambos os anos (chuvoso e seco) os pontos que perderam ou ganharam biomassa, possuíam uma variação do índice topográfico de umidade, ou seja, pontos com altos valores do índice perderam mais em um intervalo, e menos em outro, permitindo concluir que esse não é representativo da quantidade de umidade existente na área, pois ele leva em consideração a área acumulada e a parte das serras onde havia maior presença de vegetação era no topo, onde exatamente não há um acúmulo do fluxo, o que proporcionou um baixo ITU nas áreas onde haviam maior concentração de biomassa.

Correlação de Pearson entre o ITU e o IVAS nos anos chuvoso e seco

Foi possível verificar que não há uma relação de perda e ganho de biomassa com os valores do ITU no ano chuvoso, para corroborar essa afirmativa foi feita a correlação de Pearson para identificar estatisticamente a correlação linear entre as duas variáveis.

De acordo com a Figura 4, é possível identificar que não houve uma correlação entre os pontos, além de não apresentar uma relação de linearidade, o fator de correlação r^2 mostrou que a representatividade foi de menos de 2%, significando dizer que para o ano chuvoso não há correlação entre os valores de ITU e a variação da biomassa.

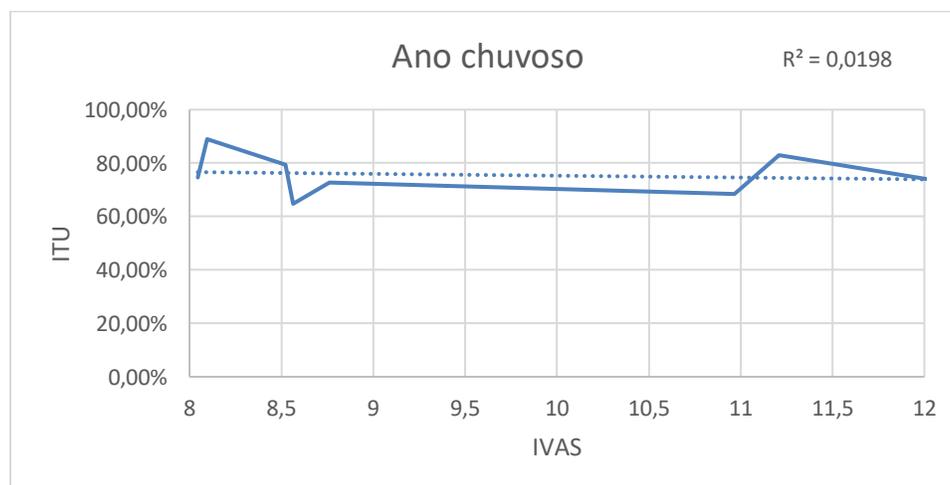


Figura 4. Correlação de Pearson entre o ITU e a variação da biomassa (ano chuvoso)
Org. do Autor, 2018.

Para o Ano Seco embora as análises de relação tenham destoado, os dados estatísticos mostraram uma correlação linear entre as duas variáveis, chegando a representar 97% (Figura 5).

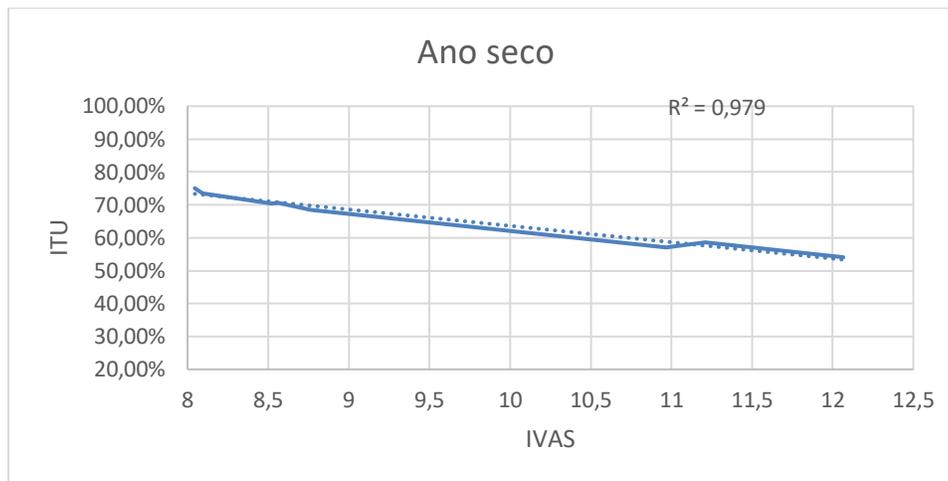


Figura 5. Correlação de Pearson entre o ITU e a variação da biomassa (ano seco)
Org. do Autor, 2018.

Os dados permitiram constatar que a medida em que os valores do índice de vegetação são maiores, essa correlação tende a ser menor, do contrário haverá uma correlação maior, mostrando a existência de uma correlação inversa entre os índices. E embora tenha havido uma correlação positiva para o ano seco, alguns pontos vão se mostrar sempre destoando dessa afirmativa.

A não correlação entre os índices pode estar relacionada a diversos fatores, o primeiro deles, é o fato do ITU levar em consideração a área de captação, e para a área em estudo, onde há um maior índice de biomassa essa área de captação é menor, por sua vez, não é possível identificar a umidade exata que poderia existir no topo das serras, além disso, onde a altitude é mais elevada não há postos pluviométricos para captar a precipitação daquela área. Dessa maneira, o índice não representa a umidade existente no topo das serras.

Deve-se também levar em consideração a relação do uso da superfície, ou seja, as áreas mais elevadas e de maior declividade são mais conservadas, pois terão um difícil acesso, sendo um obstáculo para o seu uso, o que faz com que a população local utilize as áreas menos íngremes. Desse modo, nas áreas mais planas onde o ITU apresenta maiores valores, tem um menor índice de biomassa, devido ao uso mais excessivo da superfície, dificultando as análises e apresentando uma menor correlação.

Outro ponto que merece destaque é a baixa resolução do pixel (30m) que não permite uma análise mais detalhada quanto a resolução espacial, bem como os possíveis erros que podem ocorrer na extração dos dados topográficos, como superestimativa da altitude e declividade, por exemplo.

Outro fator que corrobora a afirmativa de baixa qualidade dos dados, é o fato da vegetação apresentar um ganho de biomassa (nos dois anos) nos meses de novembro e dezembro, meses em que não foi registrada

precipitação (novembro) ou essa precipitação não foi considerável em todos os postos pluviométricos que pudessem cobrir toda a área dos pontos estudados (dezembro). Esse ganho de biomassa no intervalo em que não houve precipitação registrada nos postos, indica que esses não representam a precipitação que possivelmente caia no topo das Serras, por fatores como: a distância dos postos pluviométricos para o topo das serras; a altitude e até outros tipos de precipitação como o orvalho que embora seja captado em uma quantidade irrisória pelos postos pluviométricos terão influência na manutenção da umidade para a vegetação.

É possível observar a considerável diferença entre a altitude dos postos pluviométricos e a dos pontos analisados (Figura 6). O posto que apresenta uma maior altitude é o de Carrapateira que está a 382m, porém existem pontos que chegam a 712m e 718m e que apresentam uma distância de aproximadamente 75km do posto. A menor distância entre posto e ponto é de 13,5 a 14km, aproximadamente, trata-se do posto de Nazarezinho e dos P8, P9, P11 e P12, porém a diferença de altitude entre posto e pontos é de mais de 400m, mesmo quando há uma menor distância, haverá uma diferença hipsométrica considerável.

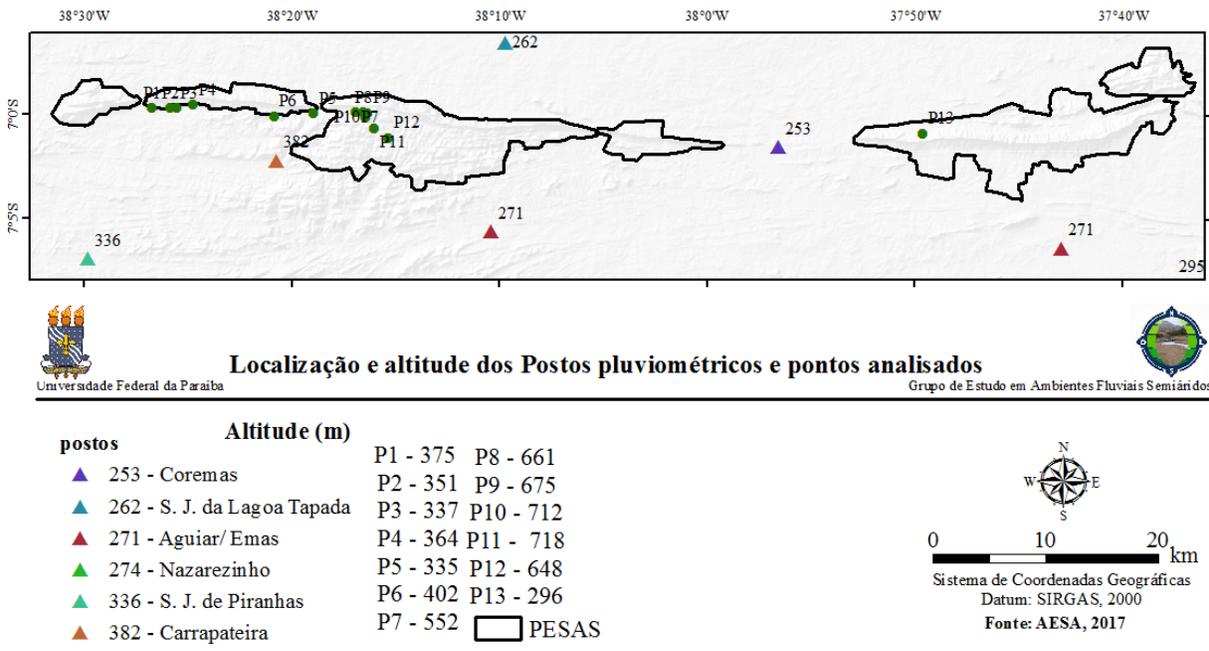


Figura 6. Espacialização dos postos pluviométricos e dos pontos estudados
Org. do Autor, 2018.

Além disso, o semiárido brasileiro apresenta áreas com topografia complexas, as quais terão um papel primordial no entendimento da relação com a precipitação. Souza et al. (2015) fizeram a caracterização e espacialização da precipitação na bacia hidrográfica do riacho do Saco, na qual a altitude varia entre 409 a 1100m, apresentando uma diferença altimétrica de 700m, os autores constataram que há uma relação entre

aumento de altitude e o aumento de precipitação, embora essa relação não seja linear, o que pode ser explicado exatamente pela irregularidade da topografia local, ainda afirmam que a relação entre o aumento da altimetria e o aumento da umidade, não se relaciona apenas ao volume total de precipitação anual, mas com outras variáveis como dias consecutivos sem chuva, dias de chuva efetiva, dias consecutivos sem chuvas efetivas, entre outros.

A diferença entre o volume de precipitação do ano chuvoso para o ano seco, também responde a não correlação entre as variáveis, visto que, nos anos secos, as precipitações são de controle mais regional e esporádica, desse modo, há uma facilidade maior da rede de monitoramento em captar esses dados, enquanto em ano chuvoso é comum, em áreas semiáridas, a ocorrência de chuvas torrenciais, bem como, o número de eventos de precipitação é maior, o fato dessas chuvas serem bem localizadas podem fazer com que elas não ocorram nas áreas dos postos pluviométricos e por sua vez, esses não cheguem a armazenar essa pluviosidade excedente, especialmente nas áreas de topo das Serras.

Em geral, é possível identificar que embora não tenha havido uma correlação direta entre os índices, há uma condição diferenciada tanto com relação a vegetação quanto ao regime pluviométrico principalmente das áreas do topo das Serras.

IV. CONSIDERAÇÕES FINAIS

O índice topográfico de umidade não apresentou uma correlação com a variação da biomassa para o ano chuvoso, mas apresentou para o ano seco. A baixa correlação pode estar relacionada com a área de captação, por ser maior nas áreas mais baixas e planas, onde a vegetação apresentou um menor índice de biomassa, bem como pode estar associada a rápida resposta da vegetação aos condicionantes locais como o clima e as alterações antrópicas que farão com que os arranjos de espécies sejam distintos e acabem se comportando de forma diferente entre o topo e a base. É provável que o ITU seja mais eficaz para o entendimento da influência da umidade ao analisar outros fatores ambientais, cuja mudança e a variação sejam mais lentas, como por exemplo, os solos.

A vegetação local, mantém-se devido a interação entre o clima local influenciado pela altitude, que proporcionará uma maior umidade e um regime de precipitação maior, porém os postos pluviométricos não são capazes de representar fielmente a precipitação que possivelmente caia no topo das Serras, devido à baixa

qualidade e espacialização dos dados de chuvas, bem como a falta de monitoramento do orvalho, que mesmo em uma quantidade menor, influenciará na manutenção da umidade para a vegetação.

Agradecimentos

A coordenação de Aperfeiçoamento Pessoal de Nível Superior (CAPES), pela concessão da bolsa de estudos durante o desenvolvimento da pesquisa.

V.REFERÊNCIAS

- ALCÁNTARA AYALA, I. Índice de susceptibilidad a movimientos del terreno y su aplicación en una región semiárida. *Revista Mexicana de Ciencias Geológicas, Querétaro* v. 17, n. 1, p. 66-75 2000.
- ALI, G. A.; ROY, A. G.; LEGENDRE, P. Spatial relationships between soil moisture patterns and topographic variables at multiple scales in a humid temperate forested catchment. *Water Resources Research, Washington* v. 46, n. 10, p.1-17, 2010.
- ALLEN, R. G.; TASUMI, M.; TREZZA, R. SEBAL (Surface Energy Balance Algorithms for Land). *Advance Training and User's Manual—Idaho Implementation version 1.0*, p. 97, 2002.
- BASTIAANSEN, W.G.M. SEBAL – Based Sensible and Latent Heat Fluxes in the Irrigated Gediz Basin. *Journal of Hydrology, Turkey*, v.229, p.87-100, 2000.
- BEVEN, K. J.; KIRKBY, M. J. A physically based, variable contributing area model of basin hydrology. *Hydrologic Science Bulletin*, v.24, n.1, p.43–69, 1979.
- COELHO, F.F.; GIASSON, E. Métodos para mapeamento digital de solos com utilização de sistema de informação geográfica. *Ciência Rural, Santa Maria*, v. 40, n. 10, 2010.
- FUNDAÇÃO JOAQUIM NABUCO – FUNDAJ. *Semi-árido: Proposta de convivência com a seca*. 2002.
- HARDY, A. J. Mapping soil moisture as an indicator of transport corridor slope instability using remotely sensed data. *Journal of Maps*, v. 6, n.1, p. 1-11, 2010.
- HUETE, A. R. Adjusting vegetation índices for soil influences. *International Agrophysics*, V 4, nº 4, p. 367-376, 1998.
- HUNG, M.N.W.B.; WROBLEWSKI, C.A.; OLIVEIRA, J.G.; PAULA, E.V. Utilização do Índice Topográfico de Umidade como suporte ao Planejamento e Gestão Ambiental de Unidades de Conservação de Uso Sustentável. *ANAIS DO XI SINAGEO*, nº 11, 2016, Maringá, 15 a 21 de setembro de 2016. 6p.
- LUNGUINHO, R.L.; SOUZA, J.O.P; SOUZA, B.I. Inselbergs, Dinâmica Hidrológica e Influência na Caatinga. *ANAIS DO XI SINAGEO*, n. 11, 2016, Maringá, 15 a 21 de setembro de 2016. 6p.
- MALVEZZI, R. *Semi-árido - uma visão holística*. Brasília, Ed. Pensar o Brasil, 2007.
- MARKHAM, B.L.; BARKER, L. L. Thematic Mapper Bandpass Solar Exoatmospherical irradiances. *International Journal of Remote Sensing*. V.8, N.3, 1978. p. 517-523.
- MINELLA, J.P.G.; MERTEN, G.H. Índices topográficos aplicados à modelagem agrícola e ambiental. *Ciência Rural, Santa Maria* v. 42, n. 9, 2012.

MINISTÉRIO DA INTEGRAÇÃO NACIONAL – MIN. Nova Delimitação do Semi-Árido Brasileiro. 2005.

NEVES, F.F.; SILVA, F. G. B.; CRESTANA, S. Comparação entre três métodos de evapotranspiração potencial aplicados a duas sub-bacias hidrográficas de Descalvado–SP. XVI SIMPÓSIO BRASILEIRO DE RECURSOS HÍDRICOS, n. 16, 2005, João Pessoa, 7p.

REICH, Peter B.; BORCHERT, Rolf. Water stress and tree phenology in a tropical dry forest in the lowlands of Costa Rica. *The Journal of Ecology*, V. 72, n. 1 p. 61-74, 1984.

SILVA, B. B. da; LOPES, G. M.; AZEVEDO, P. V. Balanço de radiação em áreas irrigadas utilizando imagens Landsat 5 – TM. *Revista Brasileira de Meteorologia*, v.20, n.2, p.243-252, 2005.

SOUZA, J.O.P.; ALMEIDA, J.D.M.; CORREA, A.C.B. Caracterização e espacialização da precipitação em bacia hidrográfica com relevo complexo: Sertão Central Pernambucano–Bacia do Riacho do Saco. *Revista de Geografia*. Recife, v. 32, n. 2, p.106-126, 2015.
