



MINISTÉRIO DA CIÊNCIA E TECNOLOGIA

INSTITUTO NACIONAL DE PESQUISAS ESPACIAIS

**Análise espacial da relação entre a densidade de biomassa
vegetal da Caatinga e a disponibilidade hídrica na Bacia
Hidrográfica do Rio Moxotó – PE**

Andeise Cerqueira Dutra
Rennan Andres Paloschi

Monografia apresentada como
requisito da disciplina de Introdução
ao Geoprocessamento (SER-300),
ministrada por Dr. Antônio Miguel
Vieira Monteiro e Dr. Claudio
Barbosa.

INPE
São José dos Campos
2017

SUMÁRIO

RESUMO

1. INTRODUÇÃO	2
1.1. Objetivo	3
1.2. Objetivos específicos:	4
2. ÁREA DE ESTUDO	4
3. MATERIAIS E MÉTODOS	6
3.1. Obtenção dos dados e as variáveis do estudo	7
3.2. Métodos de Análise	8
3.2.1. AHP	8
3.2.2. Análise multivariada por regressão linear múltipla	9
3.2.3. Normalização	10
4. RESULTADOS E DISCUSSÃO	11
5. CONCLUSÃO	17
6. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	18

RESUMO

A região nordeste do Brasil apresenta clima semiárido em grande parte do seu território, exibindo irregularidade incomum nos padrões de precipitação e frequente períodos de estiagem. A vegetação natural dessa área é conhecida coletivamente como Caatinga. Alguns autores pressupõem a hipótese de que o padrão de distribuição da biomassa neste bioma não segue o fluxo chuvoso em algumas regiões, e em determinados locais, maiores taxas de biomassa podem se desenvolver apesar de uma escassa ocorrência de chuvas. O objetivo deste trabalho avaliar, através de análise espacial, a relação existente entre a densidade de biomassa vegetal da Caatinga e a disponibilidade hídrica, tendo como área de estudo a região abrangida pela Bacia Hidrográfica do Rio Moxotó – PE. Para isso, foram realizadas as análises multicritério AHP e multivariada por regressão linear múltipla. Os resultados obtidos apontam que a disponibilidade hídrica consegue expressar parte da variação da densidade de biomassa vegetal na Caatinga e sugere que existam outros fatores que influenciem na distribuição da biomassa.

Palavras-chave: Análise Multivariada, Análise Multicritério, Inferência Geográfica.

1. INTRODUÇÃO

As regiões áridas desempenham um papel importante no ciclo global de carbono e no seu subsequente sequestro (ASNER et al., 2003; HOUGHTON et al., 1999). Além de constituírem cerca de 15% de toda a cobertura global e abrigarem aproximadamente 15% da população mundial (MILLENNIUM ECOSYSTEM ASSESSMENT, 2005).

No Brasil, a região nordeste apresenta um tipo de vegetação adaptada as condições de aridez, denominada Caatinga, ocupando uma área de aproximadamente 844.453 km² (MMA, 2013). Essas regiões apresentam precipitações baixas e irregulares, limitadas a um período muito curto do ano para grande parte da sua abrangência. São caracterizadas, sobretudo, por um longo período de escassez de chuvas (JACQUES et al., 2014).

A água é um dos fenômenos mais importantes na dinâmica dos ecossistemas e da produtividade (WELTZIN et al., 2003), sendo o principal recurso limitante para a biologia terrestre em regiões áridas e semi-áridas. Nesses ecossistemas limitados pela água, existem ligações complexas entre a precipitação e o comportamento da vegetação, uma vez que a chuva é um fator imprevisível.

A mudança climática global, prevê o aumento da já existente variabilidade das chuvas, com o aumento na intensidade e duração da seca, assim como mudanças na sazonalidade (LI et al., 2015, MALHI et al. 2008). A resposta com que os diferentes ecossistemas em regiões áridas responderão a estas mudanças não é clara, sendo necessário o desenvolvimento de pesquisas relacionadas a interação entre a ecologia e hidrologia.

De acordo com Salimon & Anderson (2017), em um estudo realizado no semi-árido da Paraíba, foi demonstrado que 50% da produtividade da vegetação da Caatinga está correlacionada com a variabilidade das chuvas. Dessa forma, pressupõe-se que existe a influência de outros fatores que são determinantes na manutenção da vegetação, uma vez que existe uma proporção de espécies que mantêm suas folhas e produtividade durante todo o ano, criando mosaicos temporais e espaciais dentro de microambientes (BARBOSA et al., 2003; ARAUJO FILHO, 2002).

A investigação dos padrões de vegetação tem sido reconhecida como um passo crucial no fornecimento de base teórica para a conservação da biodiversidade. Dessa forma, na análise desses padrões, observa-se que o um dos grupos mais importantes são os que os que relacionam chuva com disponibilidade hídrica para as plantas (JOLLY e RUNNING, 2004).

Assim como, dos tipos de padrões mais amplamente relacionados a vegetação é a variação na distribuição das espécies ao longo de gradientes de elevação (Eisenlohr et al., 2013). A altitude influencia na temperatura e precipitação, assim como a quantidade de água e a velocidade com que ela circula na superfície. A declividade é outro fator que se demonstra com papel importante na distribuição da água entre o escoamento superficial e subterrâneo (TONELLO et al., 2006). A topografia e posição de lençol freático também podem prolongar mais ou menos a disponibilidade hídrica após as chuvas (BORCHERT et al., 2004).

Dessa forma, realizar estudos relacionados a estes processos são de extrema importância para a compreensão da variabilidade e vulnerabilidade da produção da Caatinga, principalmente em cenários que predizem uma redução de até 40% das chuvas até o final do século 21 (MARENGO et al., 2009).

Embora exista a improbabilidade de que estudos sobre este assunto tenham encontrado um modelo realista, já que as distribuições das espécies podem ser influenciadas por diversos fatores, como a distância geográfica entre locais, solo, fenologia e distúrbios de origem humana ou natural, investigar sobre os padrões ecológicos, o controle ou a contabilização de um conjunto de fatores que são potencialmente importantes para a determinação desses padrões é essencial para a obtenção de resultados confiáveis.

1.1. Objetivo

Diante desse contexto, o objetivo deste trabalho foi avaliar, através de análise espacial, a relação existente entre a densidade de biomassa vegetal da Caatinga e a disponibilidade hídrica, tendo como área de estudo a região abrangida pela Bacia Hidrográfica do Rio Moxotó - PE.

1.2. Objetivos específicos:

- Definir um índice de disponibilidade hídrica baseado na análise multicritério utilizando a técnica AHP e um modelo de regressão múltipla através da análise multivariada, para estimativa de biomassa a partir da disponibilidade hídrica;
- Verificar se aonde há maior disponibilidade hídrica, há maior densidade de biomassa;
- Gerar um cenário de simulação a fim de verificar a sensibilidade do modelo de regressão obtido;

2. ÁREA DE ESTUDO

A área de estudo compreende a Bacia Hidrográfica do Rio Moxotó, que está situada em sua maior parte, no Estado de Pernambuco. A bacia, possui uma área total de 9.744,01 km², dos quais 8.772,32 km² pertencem ao estado de Pernambuco, situando-se em sua maior parte no Sertão do Moxotó. O trecho da Bacia extraída para o estudo possui uma área total aproximada de 6095 km², e abrange 9 municípios: Custódia, Sertânia, Arcoverde, Ibibimirim, Tupanatinga, Buíque, Inajá, Floresta e Iguaraci. Entretanto, a área de estudo extraída a partir área abrangente pela biomassa na Caatinga, equivale a uma área de 5140 km² (Figura 1).

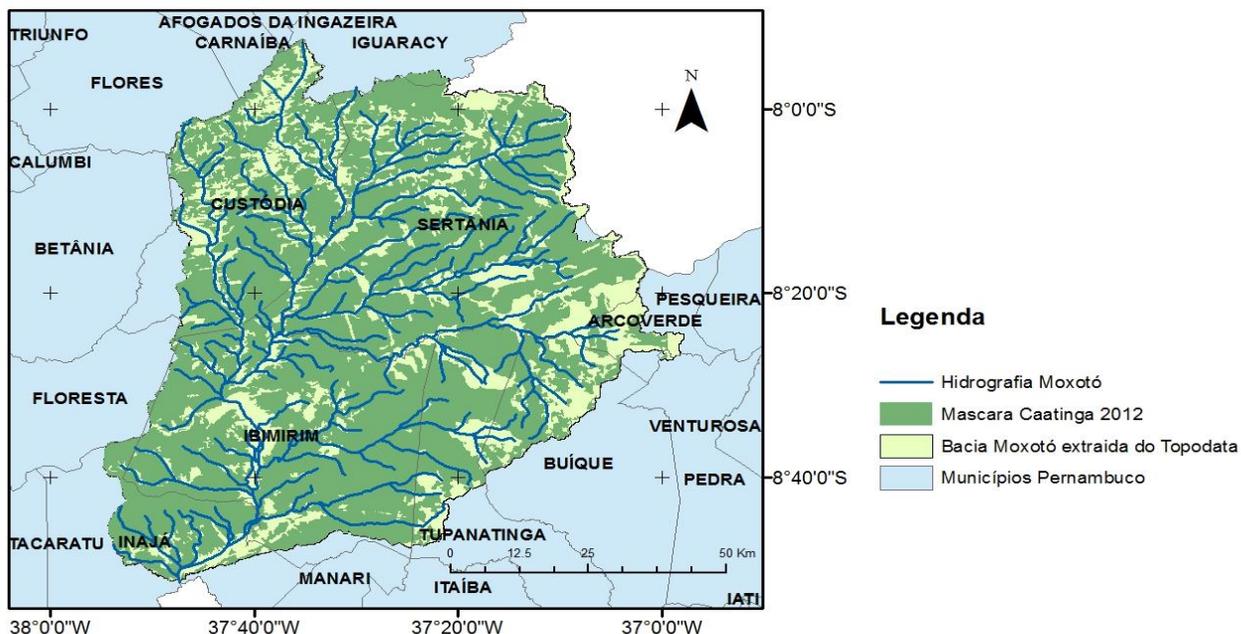


Figura 1 - Área de Estudo.

O Clima na região do sertão do Moxotó é semi-árido, apresentando precipitação média anual de 541 mm, com grande variabilidade durante o ano (valores extremos entre 156 e 927 mm). Durante os meses entre dezembro a maio, ocorre a época de precipitações mais altas e de maior ocorrência, principalmente no mês de março. Enquanto que os meses entre agosto e outubro é a época mais seca (Figura 2).

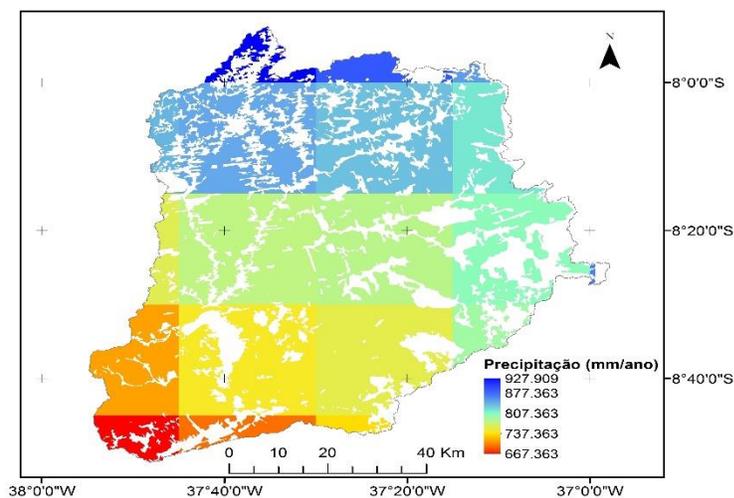


Figura 2 - Dados de Precipitação da área de estudo

Através do mapa de declividade (Figura 3), observa-se que a área em estudo apresenta relevo pouco acidentado, cuja declividade encontra-se entre 0 a 8% em grande parte da área. E altitude média entre aproximadamente 357 a 641 m (Figura 4).

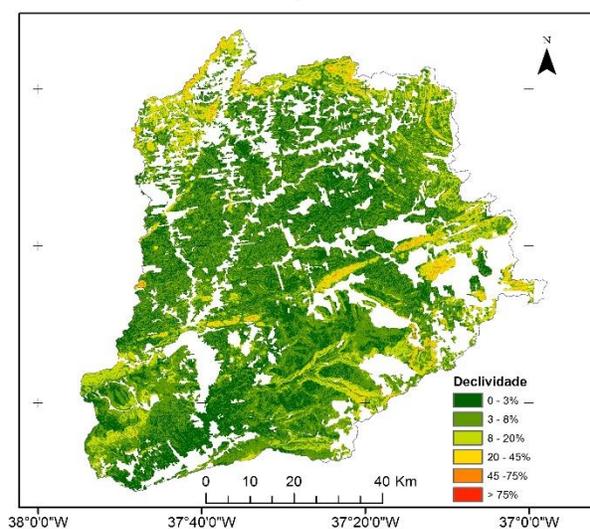


Figura 3 – Declividade

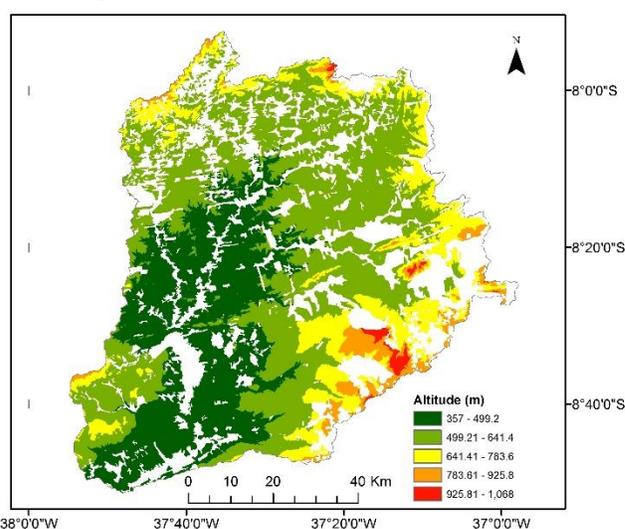


Figura 4 – Altitude

3.1. Obtenção dos dados e as variáveis do estudo

A partir dos dados do Modelo Digital de Elevação (MDE), que foram obtidos através do Banco de Dados Geomorfométricos do Brasil, disponibilizados pelo Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais, cuja resolução espacial é de aproximadamente 30 metros, foi possível obter o mapa de declividade e o fluxo de drenagem.

Os dados da malha hidrográfica da Bacia do Rio Moxotó foram obtidos no portal HidroWeb, Agência Nacional de Águas (ANA), em uma escala de 1:1.000.000, entretanto, foram utilizados apenas como referencial pois apresentavam escala inferior a utilizada no trabalho.

A partir do fluxo de drenagem, obtido através do MDE, foi possível obter uma grade da área de contribuição. Sendo esta área entendida como a superfície do terreno que contribui com o escoamento da água em determinado ponto. Esta variável foi utilizada para a análises por influenciar as condições hídricas do terreno.

A partir da área de contribuição, prosseguiu-se com a extração da rede de drenagem da Bacia do Rio Moxotó, cujo limiar da área de contribuição foi de 8.000 pixels e resolução de 1:100000.

Assim, como foi gerado uma grade denominada HAND (altura acima da drenagem mais próxima), cujo algoritmo está relacionado ao lençol freático, calculando a distância entre este e a superfície. Quanto mais próximo de 0, forem os valores de HAND, mais próximo o lençol freático está da superfície e conseqüentemente o solo se apresenta mais saturado.

Todos os dados e processos explicitados foram manipulados e gerados através do software livre TerraHidro 0.4.2 e projetados para o Sistema de Referência Geocêntrico para as Américas (SIRGAS 2000). E

O mapa da estimativa de biomassa vegetal da Caatinga que abrange a Bacia do Rio Moxotó, foi obtido através de imagens do sensor LISS III com resolução espacial de aproximadamente 23 metros e erro de aproximadamente 17% (NASCIMENTO, 2015). As delimitações das áreas florestadas foram obtidas na Embrapa com base na vetorização por fotointerpretação do acervo de imagens digitais datadas das épocas chuvosas de 2011 a 2013.

Os dados de precipitação foram obtidos via satélite Tropical Rainfall Measuring Mission (TRMM), que fornece uma média mensal e apresenta resolução espacial de 25km. Para este trabalho, foi utilizado uma série histórica correspondente a 10 anos. Estes dados foram utilizados por se apresentar quantitativamente superior aos dados fornecidos por estações pluviométricas. Entretanto, devido a baixa resolução espacial, os dados de precipitação foram reamostrados para uma resolução correspondente a 30 m.

Com a máscara de vetorização da biomassa e a área de estudo, foi gerado um vetor para recorte das variáveis para análise. Sendo realizado através do software *ArcGis versão 10.4.1*.

3.2. Métodos de Análise

Por meio do software *R program*, foram procedidas as seguintes análises:

3.2.1. AHP

A técnica do processo analítico hierárquico é uma ferramenta matemática de suporte a decisão que permite a comparação pareada entre as diferentes variáveis estudadas. A partir desta técnica, são determinados os pesos atribuídos a cada variável em função de uma escala predeterminada de importância. Esta escala de importância varia entre 1 a 9, sendo este último de importância extrema de um fator sobre o outro.

Para verificar a consistência dos dados, é calculado o índice de consistência, sendo um resultado consistente se o índice for inferior a 10%. Por fim, é realizada uma inferência por média ponderada utilizando os pesos calculados, cujo somatório deve ser igual a 1.

Neste estudo, as variáveis foram antes reescaladas para 0-1, com exceção da declividade que foi reclassificada antes do reescalamento, atribuindo pesos conforme Vieira (2015) para classificação de áreas com tendência a desertificação (Tabela 1). Depois do reescalamento as variáveis declividade e HAND foram invertidas (1-variável) já que o interesse é observar justamente o comportamento contrário ao da desertificação e dar peso maior as áreas mais planas e mais próximas ao lençol.

Tabela 1-Atribuição de pesos para a declividade (VIEIRA, 2015).

Declividade (%)	Classificação	Peso
0-2	Plano	0
2-6	Declividade baixa	1
0-18	Declividade média	1.5
> 18	Declividade alta	2

A atribuição do nível de relacionamento pareado foi feita arbitrariamente e seguiu como mostrado na tabela 3. A Razão de Consistência (RC) obtida desse relacionamento foi 0.066.

Tabela 3- Atribuição dos níveis de relacionamento pareado

Variável	Contribui em relação à	Variável	Peso
Precipitação	Moderadamente melhor	HAND	4.00
Precipitação	Melhor	Altitude	5.00
Precipitação	Bem melhor	Declividade	6.00
HAND	Um pouco pior	Altitude	0.50
HAND	Algo melhor	Declividade	3.00
Altitude	Um pouco melhor	Declividade	2.00

Os pesos dos fatores (variáveis) inferidos por meio do relacionamento pareado é mostrado na Tabela 4.

Tabela 4 -Pesos atribuídos aos fatores pelo método AHP

Fator	Peso
Precipitação	0.594
HAND	0.153
Altitude*	0.177
Declividade*	0.075

* variáveis invertidas

3.2.2. Análise multivariada por regressão linear múltipla

Técnicas multivariadas derivam de procedimentos matemáticos e estatísticos desenvolvidos para resolver problemas em múltiplos campos da ciência, tendo forte demanda em estudos das áreas biológica e ambiental a fim de analisar as inúmeras variáveis que estão relacionadas aos fenômenos da natureza. Diferentes técnicas têm sido aplicadas, entre elas a análise de

regressão linear múltipla que foi aplicado neste estudo para avaliar o potencial explicativo das variáveis estudadas em relação a biomassa vegetal.

Para isso, foi realizado primeiramente uma análise de correlação entre as variáveis (Tabela 2) e posteriormente foi aplicado a regressão múltipla regredindo a densidade de biomassa da vegetação (Mg Ha⁻¹) pelos fatores: Altitude (m), Hand(m), Declividade(%) e precipitação (mm/ano) para encontrar uma equação linear aditiva para estimativa de biomassa.

Tabela 2 – Análise de correlação.

	Biomassa	Altitude	A. Contribuição	HAND	Declividade	Precipitação
Biomassa	1	0.269	-0.002	0.230	0.223	0.375
Altitude		1	-0.025	0.681	0.426	0.286
A. Contribuição			1	0.018	0.013	0.012
HAND				1	0.468	0.037
Declividade					1	0.181
Precipitação						1

O fator Área de Contribuição além de não apresentar normalidade, não apresentou linearidade com a variável predita e não foi possível tratá-lo para inserir no modelo multivariado, portanto esse fator foi retirado do modelo. O modelo obtido gerado foi:

$$B = -17.92 + -1.315e-03 * A + 3.159e-02 * H + 5.159 * D + 5.155e-02 * P \quad (\text{Eq. 1})$$

Sendo que:

B = Biomassa (Mg/Ha);

A = Altitude (m); H = HAND (m);

D = Declividade (%);

P = Precipitação (mm/ano);

3.2.3. Normalização

Posteriormente, todos os resultados foram normalizados, ou seja, colocados em uma mesma faixa de valores a fim de evitar resultados que se sobreponham em relação à outros. Dessa forma, foram utilizados os valores máximo e mínimo para normalizar linearmente os dados entre [0,1].

4. RESULTADOS E DISCUSSÃO

Dado que o Hand está relacionado ao lençol freático observa-se (Figura 6) que na região da bacia em estudo, o Hand apresentou valores próximo a 1, o que indica forte proximidade do lençol freático à superfície. O estudo realizado por Montenegro & Mackay (2003) no semiárido Pernambucano, indicaram que a profundidade média do lençol freático varia entre 2 e 4 m para os períodos chuvosos e secos, respectivamente. Essa variação ocorre devido a variabilidade temporal de eventos climáticos e hidrológicos, o que demonstra rasa profundidade, confirmando os resultados obtidos no presente estudo.

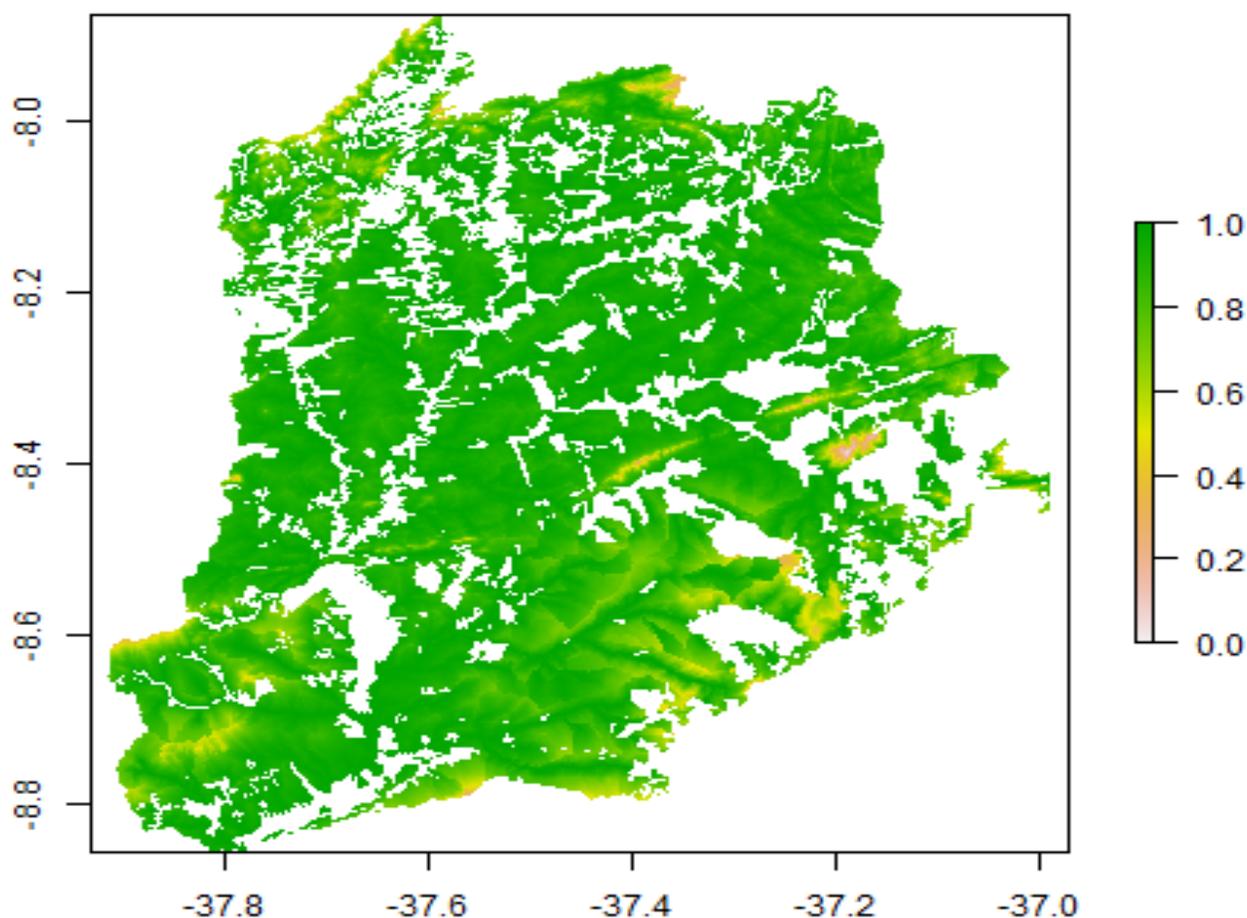


Figura 6 - HAND reescalado e invertido

A Figura 7 exibe o mapa de declividade reclassificado com a técnica AHP e normalizado.

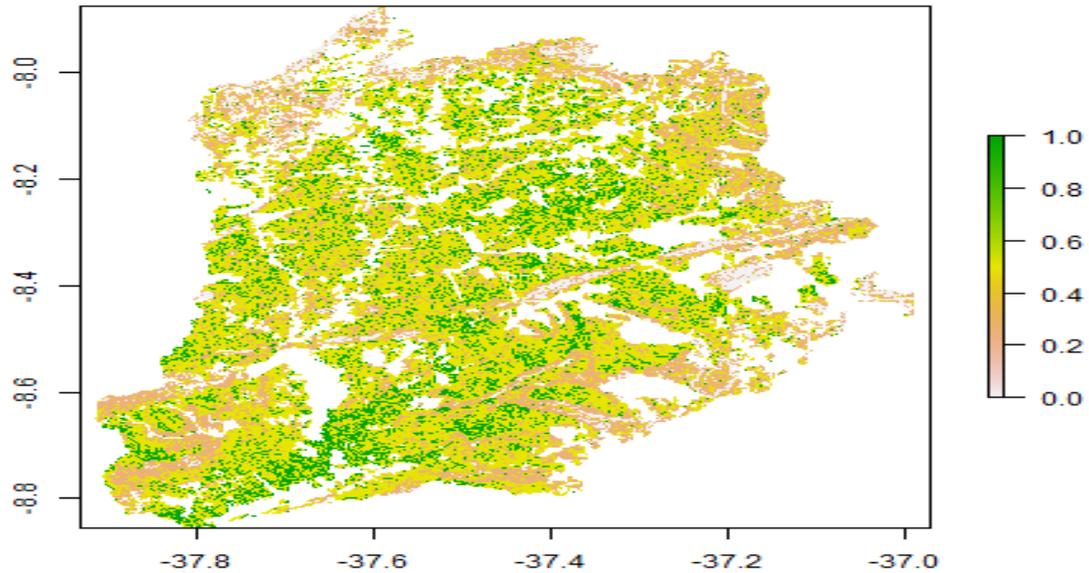


Figura 7 - Declividade reclassificada, reescalonada e invertida

O resultado da média ponderada utilizando os pesos obtidos pelo método AHP foi expresso no que foi denominado Disponibilidade Hídrica Relativa (figura 8), o qual teoricamente deve expressar a disponibilidade hídrica relativa interna na bacia, variando entre 0-1 sendo 1 a maior disponibilidade e 0 a menor disponibilidade.

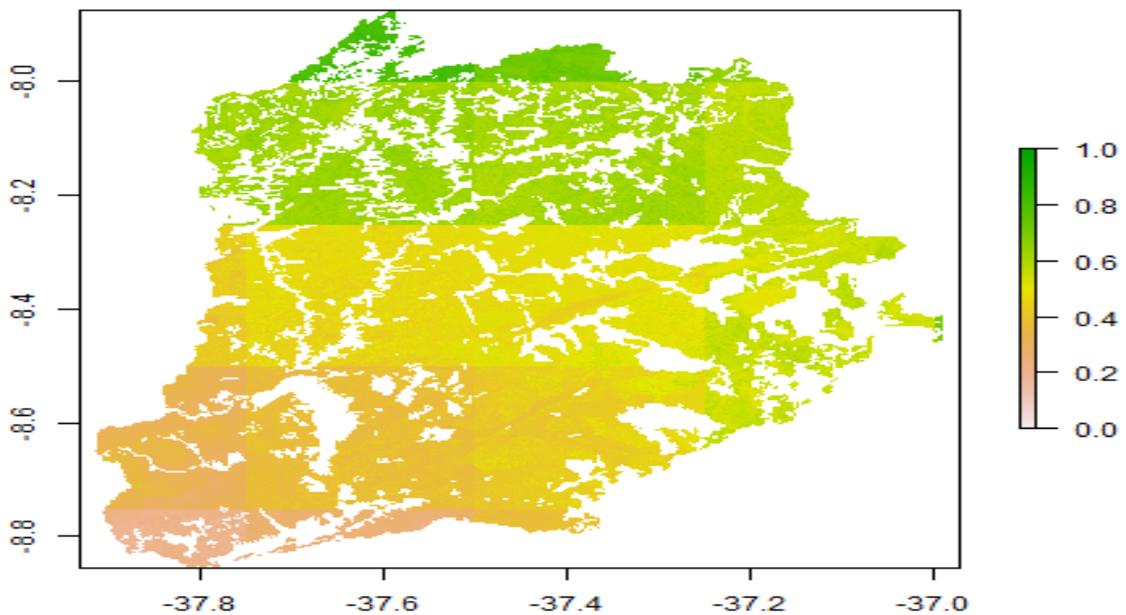


Figura 8 - Disponibilidade Hídrica Relativa para a Bacia Hidrográfica do Rio Moxotó pela AHP

É possível observar que a maior disponibilidade hídrica está nas regiões de maior precipitação anual média, uma vez que esta variável exerceu maior influência (maior peso) do modelo obtido nestas estas regiões. Observa-se também que algumas feições relativas ao terreno estão presentes neste resultado. Este dado, corrobora a afirmação de alguns autores de que a insuficiência hídrica é uma característica da Caatinga, e que esta deficiência ocorre principalmente em locais com baixa precipitação e elevadas temperaturas (MENDES, 2015; LUCHER, 2000), como confirma os resultados obtidos.

A partir do método de regressão linear múltipla, obteve-se a biomassa predita, que pode ser observada na Figura 9, sendo comparada ao mapa de estimativa da biomassa obtida por Nascimento (2015). Os resultados apresentaram similitudade em alguns pontos.

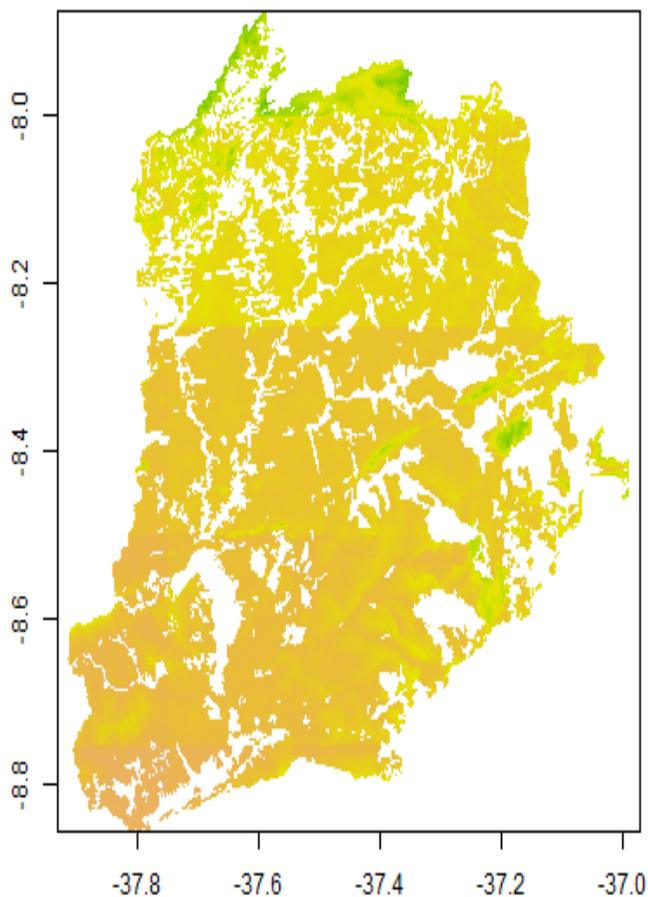


Figura 9 - Biomassa Estimada por regressão (Mg/ha)

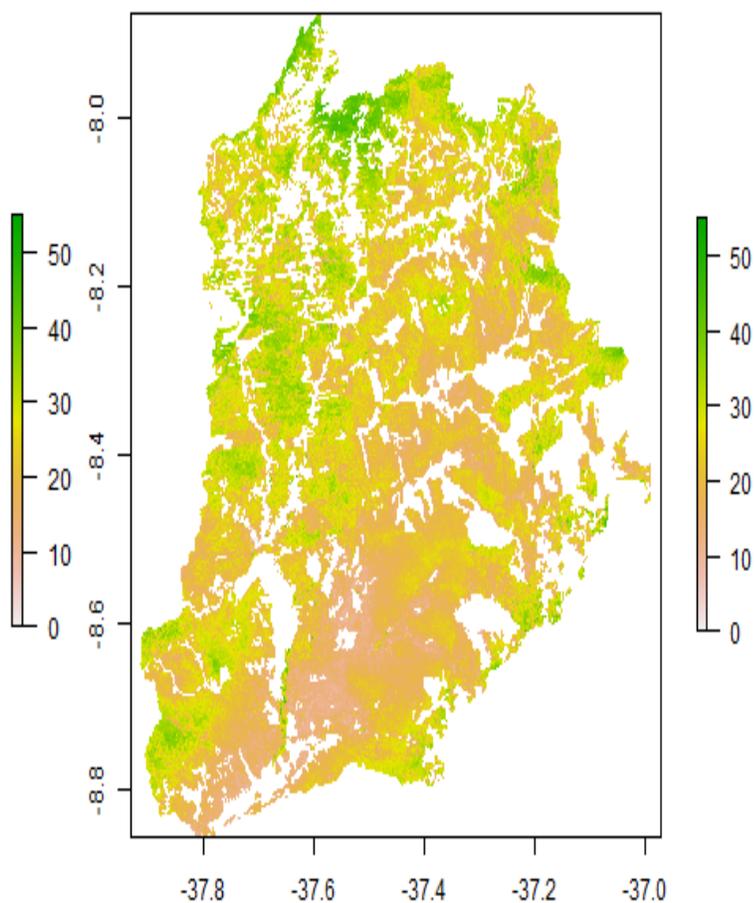


Figura 10 - Biomassa Estimada por Nascimento (2015) (Mg/ha)

O mapa de resíduos pode ser observado na figura 11, sendo que as classes estão divididas de acordo com o número de desvios padrões do resíduo. Dessa forma, a classe intermediária (verde) contendo um desvio padrão para mais e um para menos da média (0) e as demais classes superiores e inferiores contendo um desvio padrão cada uma. O histograma do resíduo pode ser observado na figura 12.

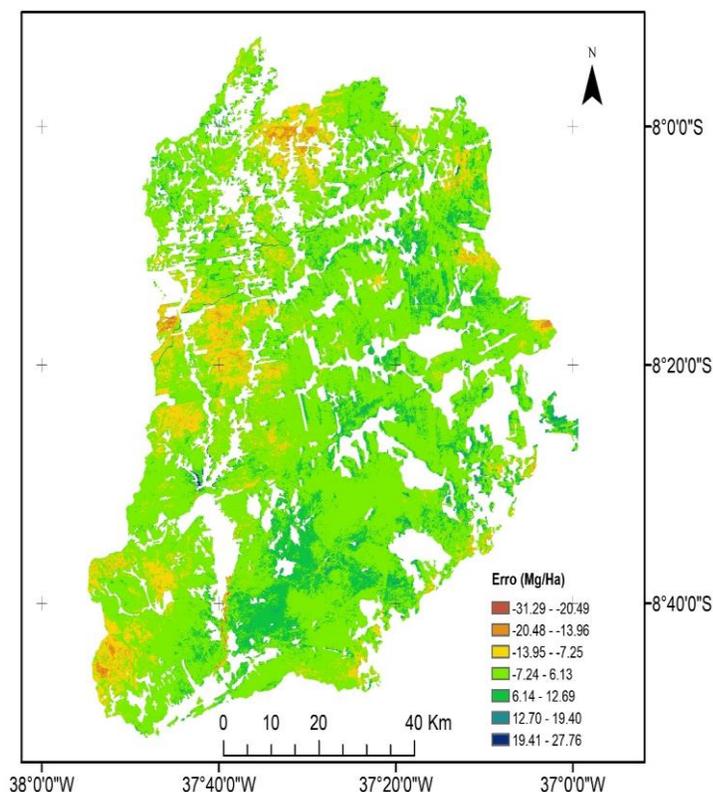


Figura 11 - Mapa do resíduo

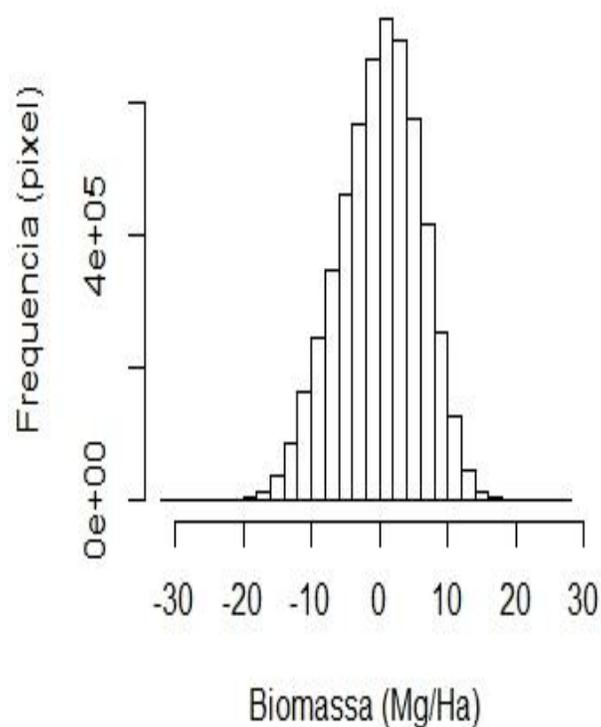


Figura 12 - Histograma de resíduo

O mapa da diferença entre a Biomassa estimada normalizada gerada pelo modelo de regressão, menos a biomassa normalizada estimada por Nascimento (2015) está representada na figura 13. O resultado está contido em um intervalo de 0 a 1, no qual as regiões mais próximas de 0 demonstram maior acerto do modelo, enquanto nas regiões mais próximas de 1, são regiões cujo modelo não foi satisfatório.

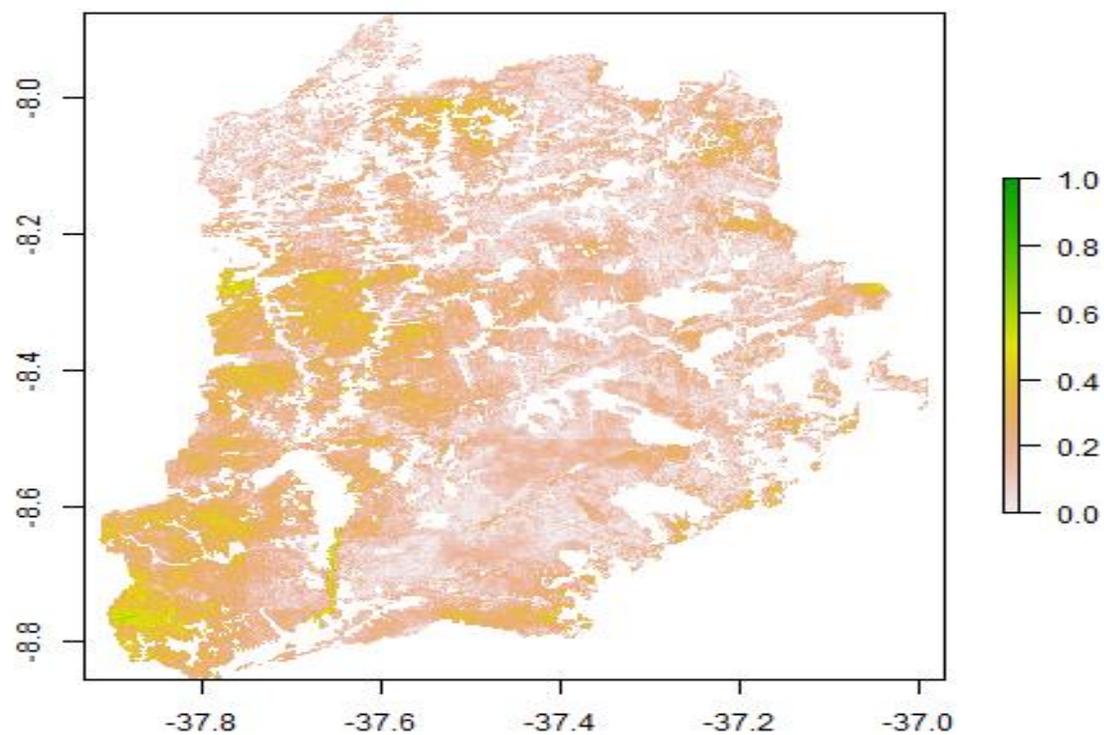


Figura 13 - Biomassa Estimada pela regressão - Biomassa Estimada por Nascimento (2015) normalizada

O mapa da diferença entre a Disponibilidade Hídrica menos a Biomassa normalizada estimada por Nascimento (2015), está representada na figura 14.

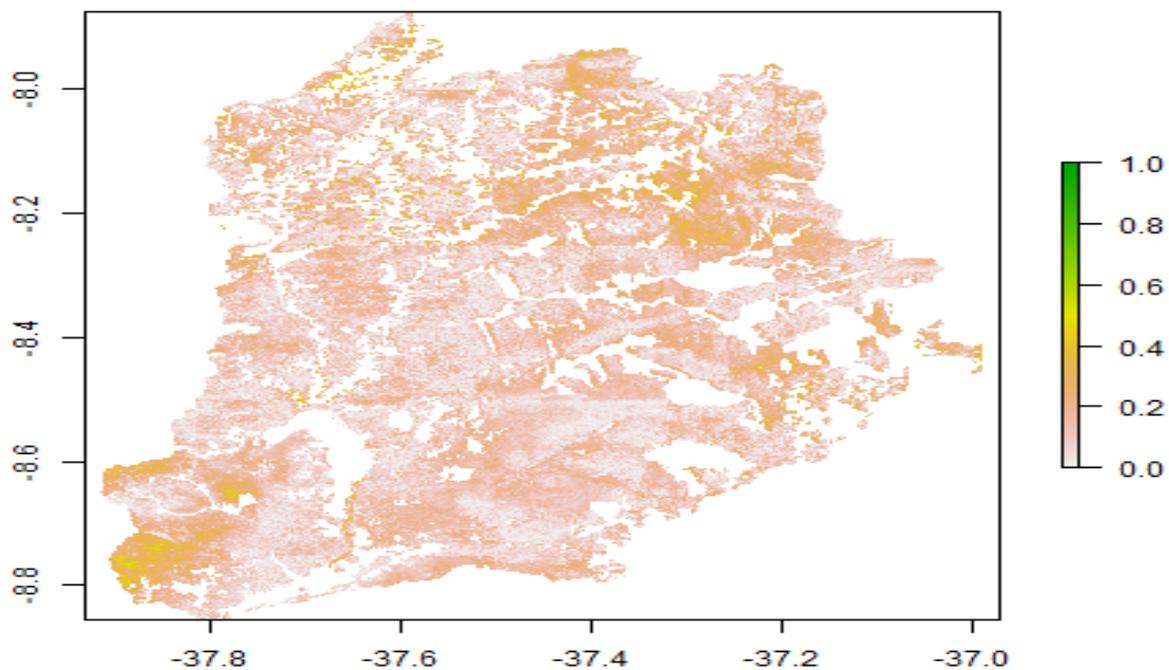


Figura 13 - Disponibilidade Hídrica menos a Biomassa normalizada estimada por Nascimento (2015)

Os resultados acima obtidos expressam a confiabilidade do modelo obtido com relação entre as variáveis de estudo e a biomassa vegetal da Caatinga, uma vez que os resultados foram satisfatórios para a maior parte da região em estudo. Dessa forma, pode-se afirmar que parte da densidade de biomassa encontrada na Caatinga, é influenciada pela disponibilidade hídrica. Assim, como a altitude e declividade são fatores que influenciam a densidade de biomassa. Este fato, pode explicar em parte, a presença de elevada biomassa em determinadas regiões da Caatinga, cuja vegetação se mantém com suas folhas verdes durante todo o ano.

De acordo com o cenário futuro para o Nordeste do Brasil, realizado por Marengo et al. (2009), que prediz uma redução de até 40% das chuvas até o final do século 21, foi gerado uma simulação do modelo, afim de averiguar a sensibilidade do mesmo às variáveis do estudo. Dessa forma, com a diminuição da precipitação obtivemos o resultado demonstrado na figura 15.

Além disso, foi simulado a disponibilidade hídrica relativa para 40% a menos de precipitação, para visualizar o impacto desse fenômeno na disponibilidade de água na região em estudo (Figura 16).

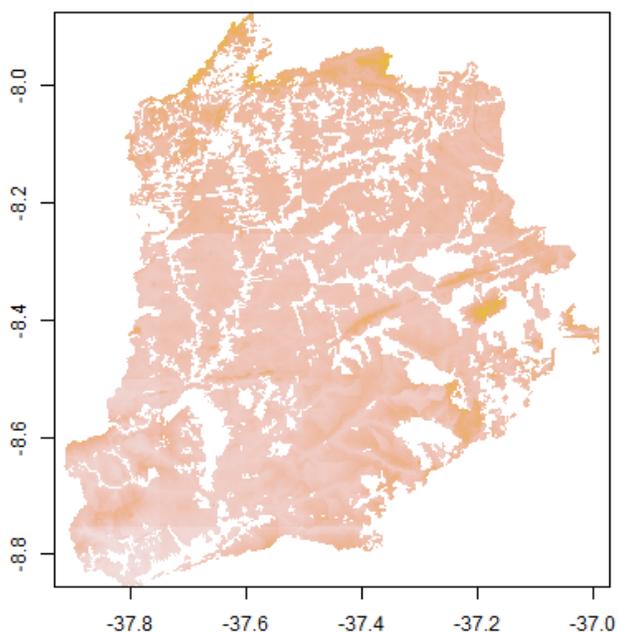


Figura 15 - Simulação da Biomassa com redução da precipitação (Mg/ha)

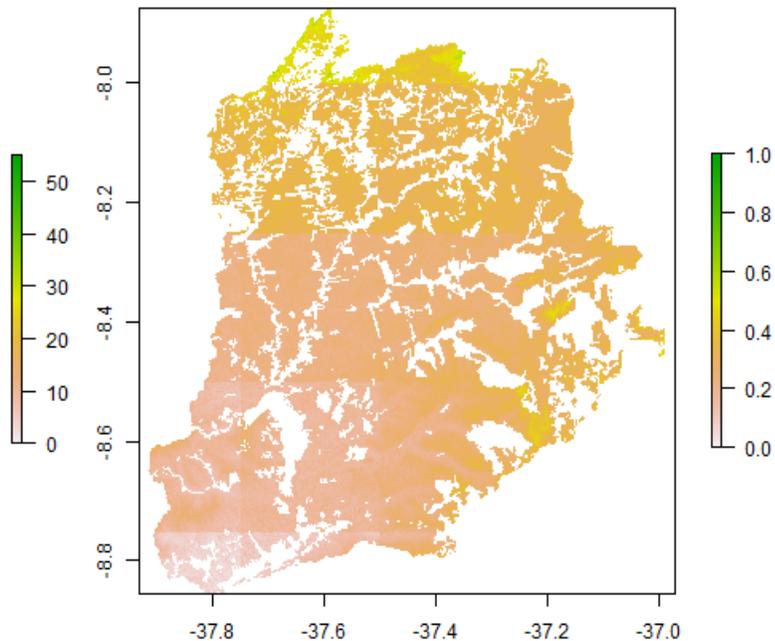


Figura 16 - Simulação da disponibilidade hídrica com redução da precipitação

5. CONCLUSÃO

- As variáveis *altitude*, *HAND* e *declividade* contribuíram para melhorar a explicação do modelo de regressão, porém o fato de não serem independentes causa muita redundância e por isso a importância (peso) acaba sendo diluída entre elas;
- A *precipitação*, apesar da resolução espacial baixa, apresentou maior correlação com a biomassa e foi a variável que mais contribuiu para a explicação do modelo.
- A variável *área de contribuição* foi importante para a determinação da rede de drenagem e cálculo do HAND, mas não teve relação direta com a biomassa e contribuiu muito pouco ao modelo de regressão;
- A **técnica AHP** apresentou um resultado mais interessante que a regressão pois permitiu impor conhecimentos prévios na estimativa dos parâmetros e gerar um índice de disponibilidade hídrica relativa;
- A análise de regressão permitiu a obtenção de um modelo satisfatório para a estimativa de biomassa utilizando as variáveis de estudo;
- A Disponibilidade Hídrica Relativa consegue expressar parte da variação da densidade de biomassa vegetal na Caatinga e sugere que existam outros fatores que influenciem na distribuição da biomassa.

6. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ARAÚJO FILHO, J. D., CARVALHO, F. D., Garcia, R., & SOUSA, R. D. Efeitos da manipulação da vegetação lenhosa sobre a produção e compartimentalização da fitomassa pastável de uma caatinga sucessional. **Revista Brasileira de Zootecnia**, v. 31(1), p. 11-19, 2002.

ASNER, G. P., ARCHER, S., HUGHES, R. F., ANSLEY, R. J., WESSMAN, C. A.; Net changes in regional woody vegetation cover and carbon storage in Texas Dry lands, 1937–999, *Global Change Biol.*, 9,316–335,2003.

BARBOSA, D.C.A.; BARBOSA, M.C.A.; LIMA, L.C.M. **Fenologia de espécies lenhosa da Caatinga**. In: Leal, I.R.; Tabarelli, M.; Silva, J.M.C. (Eds.) *Ecologia e conservação da Caatinga*. Recife: Editora Universitária da UFPE. p. 657-694, 2003.

BATISTA, J. L. O. **Detecção de mudanças da cobertura e uso do solo a partir de índices espectrais de vegetação em ambiente semiárido: enfoque para o município de Teofilândia, Bahia**. Dissertação (mestrado) – Programa de Pós-Graduação em Modelagem em Ciências da Terra e do Ambiente. Universidade Estadual de Feira de Santana, 2011.

BORCHERT, R. et al. Environmental control of flowering periodicity in Costa Rican and Mexican tropical dry forests. **Global Ecology and Biogeography**, v.13, n.5, p.409-425, 2004.

BRANDT, M., HIERNAUX, P., RASMUSSEN, K., MBOW, C., KERGOAT, L., TAGESSON, T., & FENSHOLT, R. Assessing woody vegetation trends in Sahelian drylands using MODIS based seasonal metrics. **Remote Sensing of Environment**, v. 183, p. 215-225, 2016.

EISENLOHR, P. V., ALVES, L. F., BERNACCI, L. C., PADGURSCHI, M. C., TORRES, R. B., PRATA, E. M., MARTINS, F. R. Disturbances, elevation, topography and spatial proximity drive vegetation patterns along an altitudinal gradient of a top biodiversity hotspot. **Biodiversity and conservation**, v. 22(12), p. 2767-2783, 2013.

HOUGHTON, R. A., HACKLER, J. L., LAWRENCE, K. T.; The US carbon budget: Contributions from land-use change, *Science*, v. 285, p. 574–578,1999.

JACQUES, D. C., KERGOAT, L., HIERNAUX, P., MOUGIN, E.; DEFOURNY, P. Monitoring dry vegetation masses in semi-arid areas with MODIS SWIR bands. **Remote Sensing of Environment**, v. 153, p. 40-49, 2014.

JOLLY, W. M.; RUNNING, S. W. Effects of precipitation and soil water potential on drought deciduous phenology in the Kalahari. **Global Change Biology**, v.10, n.3, p.303-308, 2004.

LACHER, W. **Ecofisiologia Vegetal**. São Carlos, RiMa. São Paulo, p. 529, 2000.

- LI, F., ZHAO, W., LIU, H. Productivity responses of desert vegetation to precipitation patterns across a rainfall gradient. **Journal of plant research**, v. 128(2), p. 283-294, 2015.
- MALHI, Y, ROBERTS, J.T, BETTS, R.A, KILLEEN, T.J, LI, W., NOBRE, C. A. Climate change, deforestation, and the fate of the Amazon. **Science**, v. 319(5860), p.169-172, 2008.
- MARENGO, J. A; JONES, R; ALVES, L.M; VALVERDE, M. C. Future change of temperature and rainfall extremes in South America as derived from the PRECIS regional climate modeling system. **Int J Climatol**, v. 29(15), p. 2241-2255, 2009.
- MEDEIROS, S. D. S., PINTO, T. F., HERNAN SALCEDO, I., CAVALCANTE, A. D. M. B., PEREZ MARIN, A. M., & TINÔCO, L. B. D. M. **Sinopse do censo demográfico para o semiárido brasileiro**. 2012
- MENDES, S. M. **Impactos das Mudança Climáticas na Disponibilidade Hídrica no Bioma Caatinga**. Dissertação (Mestrado na Pós-graduação em Desenvolvimento e Meio Ambiente), Universidade Federal de Pernambuco, 2015.
- MILLENNIUM ECOSYSTEM AASSESSMENT. Ecosystems and human wellbeing: Desertification synthesis. Washington DC: World Resources Institute, 2005.<<http://www.maweb.org/documents/document.355.aspx.pdf>>
- MINISTÉRIO DO MEIO AMBIENTE (MMA). Biomas - Caatinga. Disponível em: <<http://www.mma.gov.br/biomas/caatinga>>. Acesso em: 25 maio de 2017.
- MONTENEGRO, S.M.G.L.; MACKAY, R., OLIVEIRA, A.S.C. “Dinâmica hidro-salina em aquífero aluvial utilizado para agricultura irrigada familiar em região semi-árida”. **Revista Brasileira de Recursos Hídricos**, v.8, N.2, 2003.
- NASCIMENTO, D. M. **Estimativa do estoque de biomassa arbustivo arbórea por sensoriamento remoto em áreas de caatinga em Pernambuco**. Dissertação (mestrado) – Programa de Pós-Graduação em Tecnologias Energéticas e Nucleares, Universidade Federal de Pernambuco. CTG, 2015.
- PONCE-CAMPOS, G. E., MORAN, M. S., HUETE, A., ZHANG, Y., BRESLOFF, C., HUXMAN, T. E., SCALLEY, T. H. Ecosystem resilience despite large-scale altered hydroclimatic conditions. **Nature**, v. 494(7437), p. 349-352, 2013.
- SALIMON, C., ANDERSON, L. How strong is the relationship between rainfall variability and caatinga productivity? A case study under a changing climate. **Anais da Academia Brasileira de Ciências**, 2017.
- SILVA, A. C. D. C., PRATA, A. P. D. N., SOUTO, L. S.; MELLO, A. A. D. Aspectos de ecologia de paisagem e ameaças à biodiversidade em uma unidade de conservação na Caatinga, em Sergipe. **Rev. Árvore**, Viçosa, v. 37, n. 3, p. 479-490, 2013.
- SILVA, F. K. G. **Serras: refúgios da caatinga no cariri Paraibano?**. Dissertação (Mestrado em Ecologia e Conservação) – Universidade Estadual da Paraíba, Pró-Reitoria de Pós-Graduação, Centro de Ciências Biológicas e da Saúde, 82f, 2012.

TONELLO, K. C.; DIAS, H. C. T.; SOUZA, A. L.; RIBEIRO, SOARES, C. A. A.; & LEITE, F. P. Morfometria da bacia hidrográfica da Cachoeira das Pombas, Guanhães - MG. **Revista Árvore**, v.30(5), pp.849-857, 2006

VIERA, R. M. S. P. **Susceptibilidade à degradação/desertificação no semiárido brasileiro: tendências atuais e cenários decorrentes das mudanças climáticas e do uso da terra.** Tese (Doutorado em Ciência do Sistema Terrestre) – Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais, São José dos Campos, 2015.

WELTZIN JF, LOIK ME, SCHWINNING S, WILLIAMS DG, FAY PA, HADDAD BM AND POCKMAN WT. Assessing the response of terrestrial ecosystems to potential changes in rainfall. **Bioscience**. v. 53(10), p. 941-952, 2003.